



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

“CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO APLICADO A LA
AUTOMATIZACIÓN DE UNA CORTADORA A PLASMA”

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERA EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTORA: ADRIANA LISBETH NARANJO GAVIDIA
TUTOR: ING. ALBERTO ARELLANO

Riobamba-Ecuador

2017

© 2017, Adriana Lisbeth Naranjo Gavidia

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO APLICADO A LA AUTOMATIZACIÓN DE UNA CORTADORA A PLASMA, de responsabilidad de la señorita Adriana Lisbeth Naranjo Gavidia, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

Ing. Washington Gilberto Luna E.

**DECANO DE LA FACULTAD
DE INFORMÁTICA Y
ELECTRÓNICA**

Ing. Freddy Enrique Chávez V.

**DIRECTOR DE ESCUELA DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES**

Ing. Alberto Leopoldo Arellano A.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ing. Jorge Luis Paucar S.

MIEMBRO DE TRIBUNAL

Yo, Adriana Lisbeth Naranjo Gavidia soy responsable de todos los resultados, ideas y modos expuestos en este Trabajo de Titulación y del patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

ADRIANA LISBETH NARANJO GAVIDIA

DEDICATORIA

A Dios y a mis padres.

El presente trabajo de titulación lo dedico a Dios por ser el amigo que nunca me ha fallado y por guiarme siempre por el camino del bien, a mis padres Alba Gavidia y Carlos Naranjo quienes, sin escatimar esfuerzo alguno me han dado el apoyo moral y económico para culminar mi carrera y cumplir mi meta de convertirme en una profesional para poder ayudar a los demás con mis conocimientos.

AGRADECIMIENTO

A mi familia por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por siempre estar a mi lado y darme su amor incondicional y sobre todo por confiar en mí.

A mis Ingenieros Maestros, quienes supieron transmitirme sus conocimientos que me servirán en mi vida profesional y que además de ser profesores fueron grandes amigos y me brindaron su apoyo para la culminación de mi carrera profesional.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
INDICE DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	8
1.1 Automatización	8
1.1.1 <i>Definición</i>	8
1.1.2 <i>Ventajas</i>	8
1.1.3 <i>Sistema automatizado</i>	8
1.1.3.1 <i>Parte de mando</i>	8
1.1.3.2 <i>Parte operativa</i>	9
1.2 Cortadora	9
1.2.1 <i>Corte con chorro de agua</i>	9
1.2.2 <i>Corte por arco de plasma</i>	9
1.2.3 <i>Corte oxiacetilénico</i>	9
1.3 Plasma	10
1.3.1 <i>Definición</i>	10
1.3.2 <i>Producción</i>	10
1.4 Corte a plasma	10
1.4.1 <i>Funcionamiento</i>	10
1.4.2 <i>Equipo</i>	11
1.4.3 <i>Clasificación del corte por plasma</i>	12
1.4.3.1 <i>Corte por plasma por aire</i>	12
1.4.3.2 <i>Corte con inyección de agua</i>	12
1.4.3.3 <i>Corte con inyección de oxígeno</i>	12
1.4.3.4 <i>Corte con doble flujo</i>	12
1.5 CN	12
1.5.1 <i>Definición CN (Control Numérico)</i>	12
1.5.2 <i>Ventajas</i>	13
1.6 CNC (Control Numérico Computarizado)	14
1.6.1 <i>Definición</i>	14

1.6.2	Clasificación	15
1.6.3	Funcionamiento	15
1.6.4	Numero de ejes	16
1.6.3.1	2 ejes	16
1.6.3.2	3 ejes	16
1.6.3.3	4 Ejes	16
1.6.3.4	5 Ejes	16
1.7	Cortadora a plasma CNC	17
1.7.1	Parte electrónica	17
1.7.1.2	Motor paso a paso	17
1.7.1.3	Controlador de motores	18
1.7.1.4	Breakout Board	19
1.7.2	Software	20
1.7.2.1	AutoCad	20
1.7.2.2	Mach3	12
1.7.2.3	LazyCam	22
1.7.3	Código G	23
1.7.3.1	Interpolaciones Lineales (G00 y G01)	24
1.7.3.2	Interpolaciones Circulares o Movimientos Circulares (G02 y G03)	24
1.7.3.3	Trazado de Arcos Utilizando el Radio (R):	24
1.7.3.4	Trazado de Arcos Utilizando los comando I,J y K	25
1.7.3.5	Selección del Plano (G17, G18, G19)	25
1.7.3.6	Funciones Preparatorias - Compensaciones (G40, G41, G42)	26
1.7.3.7	Unidad de Datos (G70, G71)	26
1.7.3.8	Modos de Desplazamiento (G90, G91)	26
CAPÍTULO II		
2	MARCO METODOLÓGICO	27
2.1	Automatización de una cortadora a plasma CNC	27
2.2	Parte Mecánica	28
2.2.1	Planchas de metal	28
2.2.2	Velocidades de corte	28
2.2.3	Mesa de corte	28
2.2.4	Rieles	30
2.2.5	Viga tubular transversal	31
2.2.6	Cabezal superior	32
2.2.7	Movimientos X Y Z	33
2.2.8	Trole de tracción	34

2.2.9	Rodamientos	35
2.2.10	Ruedas	35
2.2.11	Piñones	36
2.2.12	Análisis de los pasos del motor	36
2.3	Parte electrónica	38
2.3.1	Motores	38
2.3.2	Controlador de motores	42
2.3.3	Fuente	45
2.3.4	Breakout board	46
2.3.5	Diagrama de conexiones	47
2.4	Software	47
2.4.1	Configuración de Mach3	47
2.4.1.1	<i>Unidades nativas</i>	48
2.4.1.2	<i>Puertos y pines</i>	48
2.4.1.3	<i>Sintonización de motores</i>	50
2.4.1.4	<i>Referencias (HOMES)</i>	52
2.4.2	Adaptación de archivos para Match 3	52
2.4.3	Conversión de archivos de AutoCAD a código G para Mach3	53
CAPÍTULO III		
3	MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS	54
3.1	Comprobación del eje X, Y y X-Y	54
3.1.1	<i>Eje X</i>	54
3.1.2	<i>Eje Y</i>	56
3.1.3	<i>Eje X-Y</i>	58
3.2	Comprobación de trayectorias circulares	59
3.3	Comparación entre corte manual y corte por máquina	61
3.3.1	<i>Precisión entre corte manual y corte por máquina</i>	61
3.3.2	<i>Tiempo entre corte manual y corte por máquina</i>	63
3.3.3	<i>Optimización de material entre corte manual y corte por máquina</i>	66
CONCLUSIONES		68
RECOMENDACIONES		69
BIBLIOGRAFÍA		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Velocidades óptimas de corte.....	28
Tabla 2-2: Selección de motores.....	39
Tabla 3-2: Peso en Z.....	39
Tabla 4-2: Peso en X.....	39
Tabla 5-2: Peso en Y.....	40
Tabla 6-2: Motor Nema 34 características.....	41
Tabla 7-2: Controlador especificaciones eléctricas.....	44
Tabla 8-2: Pines principales.....	44
Tabla 9-2: Pines revoluciones.....	45
Tabla 10-2: Pines de corriente.....	45
Tabla 11-3: Pruebas en la trayectoria horizontal.....	55
Tabla 12-3: Estadística descriptiva en Excel para la trayectoria horizontal.....	55
Tabla 13-3: Pruebas en la trayectoria vertical.....	57
Tabla 14-3: Estadística descriptiva en Excel para la trayectoria vertical.....	57
Tabla 15-3: Pruebas en las trayectorias X-Y.....	58
Tabla 16-3: Estadística descriptiva en Excel para la trayectoria diagonal.....	59
Tabla 17-3: Pruebas en círculos.....	60
Tabla 18-3: Estadística descriptiva en Excel para círculo.....	60
Tabla 19-3: Precisión entre corte manual y corte por máquina.....	61
Tabla 20-3: Tiempo entre corte manual y corte por máquina.....	63
Tabla 21-3: Estadística del tiempo de corte entre corte manual y por máquina.....	64
Tabla 22-3: T-students para dos muestras con varianzas desiguales para el tiempo.....	65
Tabla 23-3: Optimización de material entre corte manual y corte por máquina.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Principio de corte por plasma.....	11
Figura 2-1: Cabezal del equipo de corte por plasma.....	11
Figura 3-1: Ejes de la máquina CNC.....	16
Figura 4-1: Motor paso a paso.....	18
Figura 5-1: Chips A4988	19
Figura 6-1: Sistema de control CNC.....	19
Figura 7-1: Plano en AutoCAD	21
Figura 8-1: Pantalla principal de Match3.....	21
Figura 9-1: Pantalla de LazyCam	22
Figura 10-1: -R	24
Figura 11-1: +R.....	25
Figura 12-1: Planos en X Y y Z.....	25
Figura 13-1: Compensaciones	26
Figura 14-2: Vista lateral de la mesa de corte.....	29
Figura 15-2: Vista superior de la mesa de corte	30
Figura 16-2: Vista frontal de la mesa de corte	31
Figura 17-2: Vista frontal y lateral del cabezal.....	32
Figura 18-2: Vista de motores encargados del movimiento XYZ	34
Figura 19-2: Trole de tracción.....	34
Figura 20-2: Chumacera.....	35
Figura 21-2: Rueda.....	35
Figura 22-2: Piñones.....	36
Figura 23-2: Rango de error.....	37
Figura 24-2: Bobinas del motor.....	41
Figura 25-2: Vista lateral motor nema 34.....	42
Figura 26-2: Vista frontal motor nema 34.....	42
Figura 27-2: Controlador DM860A.....	43
Figura 28-2: Fuente de poder.....	46
Figura 29-2: Breakout Board	46
Figura 30-2: Conexión motor – driver – fuente	47
Figura 31-2: Unidades nativas	48
Figura 32-2: Puertos y pines	48
Figura 33-2: Configuración salidas de motores	49
Figura 34-2: Configuración paro de emergencia	49
Figura 35-2: Configuración de los motores	51

Figura 36-2: Configuración de límites.....	52
Figura 37-2: Conversión de archivos de AutoCAD a código G para Mach3	53
Figura 38-3: Trayectoria horizontal.....	54
Figura 39-3: Trayectoria vertical	56
Figura 40-3: Trayectoria diagonal	58
Figura 41-3: Trayectoria diagonal	59
Figura 42-3: Trayectoria diagonal	61
Gráfico 43-3: Corte manual vs. Máquina.....	62
Gráfico 44-3: Precisión de corte manual vs. Máquina.....	63
Gráfico 45-3: Tiempo de corte manual vs. Máquina	66
Gráfico 46-3: Desperdicio de material por corte manual vs. Máquina	67

INDICE DE ABREVIATURAS

CN	Control numérico.
CNC	Control numérico computarizado.
DXF	Drawing Exchange Format
2D	Dos dimensiones

RESUMEN

Actualmente la automatización de máquinas por medio de control numérico computarizadas (CNC), se ha convertido en una tendencia en la industria, ya que diariamente se están incorporando equipos con mayor tecnología que brindan ciertas ventajas en la optimización de tiempo, espacio, exactitud y disminución de errores en su trabajo final. Basándose en la optimización de recursos este proyecto tuvo como finalidad diseñar e implementar una cortadora de plasma con control numérico computarizado, que permita mejorar la velocidad, precisión y ahorro de material de la empresa en la cual será implementada. Además, su costo de fabricación es inferior al precio de venta de estos equipos y reduce los riesgos laborales que esta herramienta representa ante su uso manual. La implementación de este proyecto se basó en el método deductivo y para facilitar su comprensión se dividió en tres partes significativas: Mecánica, electrónica y software. La parte mecánica trató del diseño de los ejes de movimiento y la mesa de corte, fue construida en acero al carbono. La parte electrónica funciona a través de la conexión de un computador a una tarjeta de control encargada de procesar los comandos de código G y por medio de controladores operar motores paso a paso. Además se estableció el manejo de tres softwares: AutoCAD, para el diseño de imágenes, LazyCam, encargado de la conversión de los archivos de AutoCAD a código G y Match3, que es el software principal, representa la interface del usuario y está conectado directamente a la tarjeta controladora. Finalmente como resultados se obtuvo mejoras de: 86.08% en la precisión de corte, 89.81 % en rapidez de corte y un desperdicio de materia prima de 0%. Cumpliendo de este modo las expectativas de la empresa y obteniendo un equipo versátil ya que con solo cambiar la herramienta, se puede obtener otro tipo de equipo como cortadora a laser o fresadora. Se recomienda capacitación al personal sobre el uso de la maquinaria.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TECNOLOGÍA DEL CONTROL AUTOMÁTICO>, <CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)>, <CÓDIGO G>, <MATCH3 (SOFTWARE)>, <LAZYCAM (SOFTWARE)>, <AUTOCAD (SOFTWARE)>, <MOTOR PASO A PASO>.

ABSTRACT

Currently, the automation of machinery through computerized numeric control (CNC), has turned into an industry trend, given that equipment with greater technology that offers certain advantages in the optimization of time, space, precision and reduction of error in the final work are being incorporated daily. Based on the optimization of resources, this project aimed to design and implement a plasma cutting machine with computerized numerical control that would allow to improve the speed, precision and saving of material of the company in which it will be implemented. In addition, its manufacturing cost is lower than the retail price of these equipment and reduces the occupational risks that this tool represents before its manual use. The implementation of this project was based on the deductive method and to facilitate its understanding it was divided into three significant parts: Mechanics, electronics and software. The mechanical part dealt with the design of the movement shafts and the cutting table, which was built in carbon steel. The electronic part works through the connection of a computer to a control card in charge of processing the commands of G code and by means of controllers, operate stepper motors. In addition, the use of three software was established: AutoCAD, for the design of images, LazyCam, in charge of the conversion of the files of AutoCAD to G code and Match 3, which is the main software, represents the interface and is connected to the controller card. As final results, we obtained: 86.08% in cut precision, 89.81% in cutting speed, and a raw material waste of 0%. This fulfills the expectations of the company and obtains a versatile equipment since with just changing the tool, you can get another type of equipment like laser cutter or milling machine. Staff training on the use of machinery is recommended.

KEYWORDS: <ENGINEERING SCIENCES AND TECHNOLOGY>, <AUTOMATIC CONTROL TECHNOLOGY>, <COMPUTERIZED NUMERIC CONTROL (CNC)>, <G CODE>, <MATCH 3 (SOFTWARE)>, <LAZYCAM (SOFTWARE)>, <AUTOCAD (SOFTWARE)>, <STEPPER MOTOR>

INTRODUCCIÓN

El CNC (control numérico computarizado) se refiere a la automatización de máquinas o herramientas controlándolas mediante comando previamente programados sustituyendo de esta forma el uso manual por el control de un computador.

En la actualidad al hablar de la creación de estructuras y piezas buscamos obtener una mayor precisión en los análisis y diseños, para lo cual se utiliza un buen software que se ajuste a nuestras necesidades, una vez que se obtuvo el diseño deseado existen complicaciones al realizarlo físicamente y no obtendremos el resultado exacto, para lo cual es necesario implementar un control numérico computarizado que permita proyectar nuestro trabajo virtual en el plano físico con mayor precisión y mejorar el aprovechamiento de los recursos.

Básicamente el control numérico por computadora se lo puede adaptar a cualquier Máquina-Herramienta como: cortadoras, taladros, fresas, etc. Y a Cualquier máquina que realice movimientos que puedan ser controlaos por motores y generen trayectorias en su plano de movimiento.

Una cortadora CNC (Control Numérico Computarizado) está controlada a través de un eje de coordenadas XYZ que le permiten realizar sus movimientos de forma más exacta optimizando el tiempo y facilitando el uso de esta máquina, a la vez que al evitar el uso manual se previenen futuros accidentes a los cuales el personal podría estar sujeto al cometer algún error, convirtiéndose este en un equipo más preciso y seguro.

ANTECEDENTES

En Ecuador se han realizado varias tesis relacionadas al control numérico computarizado como las que a continuación se citan, en la Escuela Politécnica Nacional, Freile Edwin (2009, p.1) con la Automatización de una máquina fresadora mediante control numérico computarizado, el cual para realizar la automatización de dicha máquina ejecuta la implementación de un sistema microprocesado para el control de sus motores paso a paso e interfaces electrónicas para su control desde la PC, también un HMI(Interfaz Hombre Máquina) encargado de llamar a los correspondientes programas de diseño y control CAD (Diseño Asistido por Computador) –CAM (Fabricación Asistida por computador) -CNC, siendo cada una de estas, partes vitales de la máquina.

Además otro ejemplo claro del uso de CNC lo obtenemos en la Universidad Politécnica Salesiana, por Arpi José y Cabrera Medietta (2013, p1), con la Implementación de un sistema de control para una máquina CNC láser, para la cual utilizan el sistema operativo Linux además de una tarjeta PCI de alta velocidad como protocolo de comunicación, además el trabajo fue dividido a través de bloques como los cuales facilitarían la realización y buscando obtener micropaso en los motores que permitan obtener un sistema más preciso y un controlador que regula la potencia del haz del láser para la profundidad del corte.

En una industria el aprovechar al máximo los recursos existentes en la empresa es de vital importancia, por lo cual la automatización de una herramienta con la precisión obtenida con CNC permitirá el aprovechamiento máximo de materia prima, disminución en el tiempo del proceso y la posibilidad de realizar piezas mucho más complejas en metal, por lo cual este proyecto de titulación propone la realización de esta cortadora a plasma CNC, con el fin de generar mayores ganancias para la empresa ya sea en el aprovechamiento de recursos como en el tiempo de realización de sus estructuras.

Existen diversas herramientas de corte como las que se nombran a continuación, el corte por láser que brinda alta velocidad de corte pero el precio del equipo es elevado, corte por óxido que su velocidad de corte es muy lenta pero sus costos son bajos, corte por chorro de agua que brinda gran flexibilidad en tipo y grosor del material pero el precio de este equipo es muy elevado, corte por plasma el cual se utilizará en este proyecto dado a que genera uno de los costos más bajos en comparación a otras herramientas y es ideal para su uso en la industria especialmente para el corte de acero inoxidable.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo mejorará la precisión al utilizar control numérico computarizado en el diseño y construcción de la cortadora a plasma?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles son las principales aplicaciones del control numérico computarizado en la industria?

¿Qué precisión milimétrica se puede conseguir en relación a las piezas con corte manual y las de un sistema controlado por CNC?

¿Qué cantidad de tiempo se ahorrará en el corte?

¿Cuál será el porcentaje de optimización de materia prima?

JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La base principal de esta máquina es la cortadora a plasma que actualmente se tiene en la empresa “Carlos Alberto Villacrés Badillo” ideal para realizar piezas en acero para la construcción de estructuras metálicas.

El proceso de esta máquina empieza con el desarrollo y lectura de los planos que se realizará a través de un software en este caso, dadas sus características se ha optado por AutoCAD ya que su interfaz es fácil de comprender y permite una buena visualización de los planos a realizarse en este. Una vez que se obtiene el plano se procede a exportar al formato DXF (Drawing Exchange Format) el cual nos devuelve la imagen en forma de texto o código propio para cada figura, que puede ser interpretado por tablas y un conocimiento básico de matemáticas, trigonometría y aritmética.

Para la comunicación software – hardware se utilizará una comunicación serial que permita la correcta transmisión de información asegurando ninguna pérdida en el proceso de transmisión y teniendo en cuenta la mejor velocidad y la realización de un trayecto adecuado de la máquina.

Para facilitar la interacción máquina – humano se utilizará una interfaz HMI adaptada para su fácil comprensión y permitiendo comandar esta máquina de una manera fácil sin que el operador necesite amplios conocimientos técnicos.

Este sistema en lazo abierto se controlará mediante una tarjeta controladora que se encargarán de comunicar al procesador y los actuadores de la herramienta además de la activación del plasma.

El movimiento de la cortadora se comandará a través de tres motores paso a paso ubicados de tal manera que permitan su cómodo desplazamiento en el plano XYZ controlando sus trayectorias máximas y mínimas de la máquina. Los niveles de velocidad de motores serán seleccionados por el operador de acuerdo al espesor y el tipo de material.

Para el diseño mecánico de la máquina se tomará de base el tamaño de una plancha metálica tomando en cuenta un nivel de holgura y con respecto a esta se adaptará el resto de estructuras, como el soporte de los motores paso a paso, la adaptación de la cortadora a plasma, ubicación del tablero de control, etc.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

La Empresa Carlos Alberto Villacrés Badillo es una empresa dedicada a la construcción de estructuras metálicas, para lo cual realizan piezas diseñadas a medida las cuales requieren una buena precisión para desenvolver su función de manera adecuada, muchas de estas piezas se realizan con una cortadora de plasma manual, esto implica dependencia total de un operador y desperdicios en materia prima debido a errores humanos o por la accesibilidad que busca el operador para manipular la materia prima además la dificultad de transcribir la pieza deseada manteniendo las medidas exactas del plano base a la materia prima , además del tiempo requerido para realizarlo.

Buscando mejorar este proceso se ha pensado en la implementación de un sistema CNC para dicha cortadora, la cual interpretará mediante un programa la información dada por un usuario y la transmitirá hacia la materia prima permitiendo con un corte limpio la obtención de la pieza y la optimización del proceso.

Con este sistema se optimizará el tiempo de manera significativa en la obtención de estas piezas además tomando en cuenta que se automatizara esta herramienta se eliminará la necesidad de manejarla manualmente evitando la dependencia de un operador durante todo el proceso lo que elimina posibles errores humanos y accidentes, permitiendo a la vez el máximo aprovechamiento de materia prima y observándose un mejor grado de precisión en el corte lo cual permitirá la elaboración de piezas mucho más complejas otorgando mayor flexibilidad al realizar varios trabajos.

Este proyecto busca aprovechar al máximo los recursos existentes en la empresa por lo cual mucho de los materiales necesarios están actualmente disponibles en dicha empresa permitiendo una reducción significativa en el costo y siendo la opción más viable para la obtención de una herramienta con estas características.

Al diseñar esta herramienta se busca lograr un porcentaje de automatización bastante alto por lo que es de vital importancia la selección de los controladores y actuadores eléctricos además del óptimo acople de estos con el diseño mecánico, requiriendo un análisis detallado de este proceso.

Una máquina CNC se caracteriza principalmente por su precisión pero a la vez es importante la velocidad de trabajo ya que al ser una cortadora no tiene fricción en su movimiento pero de su velocidad dependerá a la vez del ancho y de la consistencia del material al ser utilizado ya que en esta empresa se utilizarán diferentes tipos de materia prima que varían tanto de tipo material

como de su espesor, por lo cual se debe adaptar velocidades máximas y mínimas, las cuales son seleccionadas a través del operador.

Al trabajar con una máquina de este tipo se generan trayectorias que contienen información, como sus coordenadas XYZ las cuales deben ser leídas y reproducidas en tiempo real y de esto dependerá la velocidad de trabajo de esta máquina se escogió el corte por plasma ya que genera uno de los costos más bajos en comparación a otras herramientas como láser, corte por óxido, corte por chorro de agua, etc. lo que lo hace ideal para su uso en la industria especialmente para el corte de acero inoxidable.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Aplicar la tecnología CNC a la automatización de una cortadora a plasma.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar las características y funcionamiento de los equipos controlados por CNC.
- Diseñar los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos de este sistema.
- Implementar los componentes del CNC en la cortadora.
- Realizar un conjunto de pruebas que permitan verificar la adecuada precisión de la cortadora.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Automatización

1.1.1 Definición

El término automatización se refiere al uso de sistemas eléctricos, mecánicos y computarizados para que los procesos se realicen automáticamente, es decir, que las máquinas realicen sus tareas sin intervención de un operador, de este modo se obtiene un ahorro significativo de recursos como: tiempo, mano de obra, entre otros.

1.1.2 Ventajas

- Permitir que acciones que representen un riesgo para los humanos se puedan ser realidad de una forma segura.
- Otorgar mayor exactitud y precisión en el desarrollo de tareas mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar la productividad de la empresa ya que reduce los costos de producción.
- El operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Disminuye el tiempo de producción, permitiendo proveer más productos en menor tiempo.

1.1.3 Sistema automatizado

Al referirse a un sistema automatizado, se pueden nombrar dos partes principales: parte de mando y parte operativa.

1.1.3.1 Parte de mando

Suele ser un autómatas programable (tecnología programada). En un sistema de fabricación automatizado el autómatas programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado. (Difoosion, 2013)

1.1.3.2 Parte operativa

Es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores (como motores) y los captadores (finales de carrera). (Difoosion, 2013)

1.2 Cortadora

Todas las máquinas CNC se basan en el mismo principio de funcionamiento, se diferencian en su actuador, existen diferentes métodos de corte, entre los principales tenemos los siguientes.

1.2.1 Corte con chorro de agua

El corte con chorro de agua usa una corriente fina de agua a alta presión y velocidad dirigida hacia la superficie de trabajo para producir un corte, para obtener una fina corriente de agua, se usa una pequeña abertura de boquilla de un diámetro de 0.004 a 0.016 pulgadas. (Groover, 2013a, p 621)

1.2.2 Corte por arco de plasma

Usa una corriente de plasma que opera a altas temperaturas en el rango de 10 000 a 14 000 ° para cortar metal por fusión. En la acción de corte se dirige la corriente de plasma a alta velocidad fundiendo e impulsando el metal por la ranura y con el calor suficiente para cortar un metal de espesor de 150 mm. (Groover, 2013b, p 633)

1.2.3 Corte oxiacetilénico

Mediante un soplete especial calienta el acero hasta el rojo vivo (900 °C) con una llama carburante y entonces al abrir la válvula de oxígeno lanza un chorro a presión que provoca una reacción con el hierro de la zona afectada que se derrite en forma de chispas al ser su temperatura de fusión inferior a la del acero. (Gómez et al., 2011a, p. 162)

1.3 Plasma

1.3.1 Definición

El concepto de plasma se puede entender de como Gómez et al (2011b) lo definía:

El plasma es el nombre que recibe el cuarto estado de agregación de la materia (los otros son: sólido, líquido y el gaseoso). Está constituido por un flujo obtenido mediante la casi completa ionización de un gas, inicialmente neutro, que se encuentra a temperaturas muy elevadas. Dicho fluido contiene proporciones prácticamente iguales de electrones y de iones positivos y conduce de forma excelente la electricidad. (Gómez et al., 2011c, p. 161)

1.3.2 Producción

De acuerdo con Gómez et al. (2011d, p. 161) explica que este estado no se encuentra de forma natural y existen tres formas diferentes de producirlas:

- A través de fuertes descargas eléctricas, calentando los elementos que rodean al gas neutro inicial.
- Calentando el gas hasta temperaturas próximas a los 7000 °C.
- Aprovechar la ionización producida por rayos muy enérgicos.

1.4 Corte a plasma

1.4.1 Funcionamiento

Groover (2013c, p.633) explica que el arco de plasma se genera entre un electrodo dentro del soplete y el ánodo. El plasma fluye a través de una boquilla enfriada con agua, que controla y dirige la corriente a la posición deseada del trabajo con lo cual se obtiene un chorro de plasma con una corriente de alta velocidad bien alineada con temperaturas extremadamente altas en su centro como se observa en la figura 1-1.

Generalmente los gases usados para crear el plasma son: nitrógeno, argón, hidrógeno o una mezcla de éstos. A estos se los conoce como gases primarios en el proceso. Con frecuencia se dirigen gases secundarios o agua para rodear el chorro de plasma, a fin de ayudar a confinar el arco y limpiar la ranura de metal que se forma.

El corte con arco de plasma puede usarse para cortar casi cualquier metal eléctricamente conductivo. Con frecuencia los metales cortados por este método incluyen aceros al carbono simple, acero inoxidable y el aluminio.

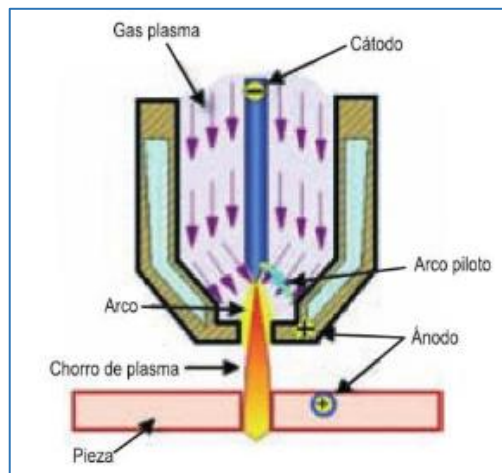


Figura 1-1: Principio de corte por plasma

Fuente: (Gómez et al., 2011)

1.4.2 Equipo

Basándose en el criterio de Gómez et al. (2011e, p. 161) el equipo de corte a plasma se compone de los siguientes elementos:

- Transformador eléctrico, con su correspondiente sistema de refrigeración para evitar posibles sobrecalentamientos.
- Parte neumática cuya presión de trabajo puede ser regulable, en algunos casos se reemplaza un circuito hidráulico en vez de un neumático.
- La antorcha con partes correspondientes (eléctricas y neumáticas). Como se observa en la figura 2.

En la antorcha hay compones que se desgastan conforme sea su uso, estos son: electrodo y tobera. Si estos elementos se desgastan o dañan se verá afectada la calidad del corte.

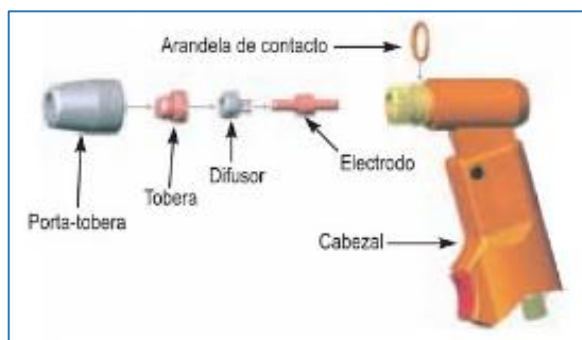


Figura 2-1: Cabezal del equipo de corte por plasma

Fuente: (Groover, 2013)

1.4.3 Clasificación del corte por plasma

El corte por arco de plasma se puede clasificar de la siguiente forma:

1.4.3.1 Corte por plasma por aire

En este tipo de corte el oxígeno del aire aumenta las velocidades de corte en un 25% en relación con el corte tradicional por plasma seco, sin embargo, también conlleva una superficie de corte muy oxidada y una rápida erosión del electrodo que está dentro de la boquilla de corte. (EcuRed, 2010)

1.4.3.2 Corte con inyección de agua

Dick Couch, presidente de Hypertherm, inventó este tipo de corte el cual es un proceso que implicaba inyectar radialmente agua en la boquilla. El resultado final es un corte mejor y más rápido, así como con menos escoria. Este proceso también utiliza como gas nitrógeno pero como protector utiliza una capa de agua. (EcuRed, 2010)

1.4.3.3 Corte con inyección de oxígeno

Implica la utilización de oxígeno como gas de corte y la introducción de agua por la punta de la boquilla. Este proceso denominado ayuda a solucionar los problemas del rápido deterioro de los electrodos y la oxidación del metal. (EcuRed, 2010)

1.4.3.4 Corte con doble flujo

Este es el sistema convencional o estándar, de alta velocidad que utiliza como gas-plasma nitrógeno y como gas protector puede emplearse bióxido de carbono o bien oxígeno. (EcuRed, 2010)

1.5 CN

1.5.1 Definición CN (Control Numérico)

El control numérico es una forma de automatización programable en la cual un programa que contiene datos alfanuméricos codificados controla las acciones de una parte del equipo. Los datos representan posiciones relativas entre una cabeza de trabajo y una pieza de trabajo y la secuencia en la cual se realizan los movimientos. (Groover, 2013d, p. 888)

Se puede afirmar que el control numérico permite realizar de forma automática todas las operaciones fundamentales de la máquina, obteniendo de este modo una producción más rápida y de mayor calidad, ya que se supervisan mejor las variables más importantes del proceso como: distancia de separación, velocidad de avance, precisión, rapidez y flexibilidad.

1.5.2 Ventajas

La finalidad de toda producción es la de producir artículos de calidad óptima y de bajo costo, con el empleo y aplicación de máquinas-herramienta de control numérico es posible no solamente fabricar piezas a elevada precisión, sino también permiten una notable disminución de costos de producción, eliminación de fatiga humana, errores humanos y otros más. (Sánchez, 2014a, p. 69)

Según Sánchez (2014b pp. 69-71), las principales ventajas del empleo de estas máquinas se manifiestan en los siguientes aspectos:

- Los tiempos de maquinado de las piezas se reduce.
- El desplazamiento para el posicionamiento de las herramientas se lleva a cabo en forma rápida y precisa. Además los tiempos muertos causados por el factor humano se eliminan.
- El control de calidad se reduce considerablemente, puesto que una vez realizada la primera pieza y verificada, las demás serán exactamente iguales.
- Eliminación de desperdicios de material. Debido a que el ciclo de maquinado de las CN es casi completamente automatizado.
- Las posibilidades de error humano son muy limitadas. Un programa bien realizado hace que la acción del operador se reduzca a vigilar la máquina, a quitar la pieza maquinada y a poner la pieza inicial.
- Eliminación de dispositivos o plantillas tradicionales ya que las máquinas-herramienta al realizar trabajos de precisión y en serie se requiere la fabricación de dispositivos y plantillas que permitan la reducción de tiempos de fabricación pero que garanticen la precisión requerida. Estos dispositivos generalmente son costosos cuando se trata pequeños lotes de piezas. Por lo cual la repetitividad y la precisión son características propias de las máquinas CN.

- Posibilidad de trabajar todo tipo de piezas sin importar el grado de complejidad con operadores que no están altamente calificados. Además el mismo operador puede operar simultáneamente otras por lo cual existe una reducción considerable de mano de obra.
- Mayor precisión en las piezas ya que tienen la capacidad de efectuar desplazamientos y operaciones de maquinado con gran exactitud. Su sistemas son los encargados de hacer posible deslizamientos muy finos y precisos con lo cual se evita el rozamiento. Además la precisión hace posible que casi sea nulo obtener piezas defectuosas.
- Posibilidad de hacer modificaciones sobre una pieza en cualquier momento sin tener que volver a fabricar o realizar costosas modificaciones.
- Reducción de espacios. Ya que las máquinas CN ocupan menos espacio que el grupo de máquinas que sustituyen. La reducción de espacio también se logra también porque las piezas trabajadas en ellas permanecen menos tiempo en el taller y porque no existen dispositivos y plantillas que almacenar.
- Posibilidad de programar y controlar más eficientemente el trabajo en el taller, puesto que se tiene un conocimiento exacto de los tiempos de producción de cada pieza por lo que se puede conocer el tiempo total de producción de un lote o de una serie de piezas.

1.6 CNC (Control Numérico Computarizado)

1.6.1 Definición

Ávila (2014), dice que actualmente las máquinas con lógica CN cada día son remplazadas por máquinas con CNC, basadas en el uso de uno o varios microprocesadores que sustituyen a los circuitos de lógica cableada de los sistemas CN, poco fiables y de gran tamaño.

El CNC incluye una memoria interna de semiconductores que permite el almacenamiento del programa pieza, de los datos de la máquina y de las compensaciones de las herramientas. De esta forma, se facilita una programación más estructurada y fácil de aprender. Por otra parte, se trata de equipos compactos con circuitos integrados, lo que aumenta el grado de fiabilidad del control y permite su instalación en espacios reducidos y con un nivel de ruido elevado.

Actualmente, todos los controles que se fabrican son del tipo CNC, quedando reservado el término CN para una referencia genérica sobre la tecnología, de tal forma que se utiliza

la denominación CN (Control Numérico) para hacer referencia a todas las máquinas de control numérico, tengan o no computador.

1.6.2 Clasificación

Sánchez (2014c, p. 74) indica que se pueden clasificar de varias maneras, algunas de ellas se mencionan a continuación:

- Máquinas simples CNC
 - Fresadoras
 - Tomos
 - Mandriladoras
 - Taladradoras
 - Etc.
- Máquinas múltiples CNC
 - Centros de maquinado
 - Centros de torneado
 - Centros de producción
- Máquinas CNC de mandril horizontal o mandril vertical
- Máquinas CNC con cambio automático de las herramientas o sin cambio automático de las herramientas. Las de cambio automático de herramientas pueden ser de 12, 20, 30, 40, 90, 120, o más estaciones para herramientas.
- Máquinas CNC con control sobre 2 ejes.
- Máquinas CNC con control sobre 3 ejes.
- Máquinas CNC con control sobre 4 ejes.

1.6.3 Funcionamiento

Una máquina CNC se encarga de desplazar una herramienta a través de una mesa de trabajo, donde se establecen dos ejes principales:

- Eje X el cual representa la parte horizontal de la mesa
- Eje Y el cual representa a la parte vertical de la mesa.

En algunos casos la herramienta también puede realizar otro movimiento subiendo o bajando, este eje representa al eje Z, este puede ser opcional ya que los principales serán el eje X y Y. El eje Z puede o no estar presente en la máquina. Los ejes se ven gráficamente representados en la figura 3-1.

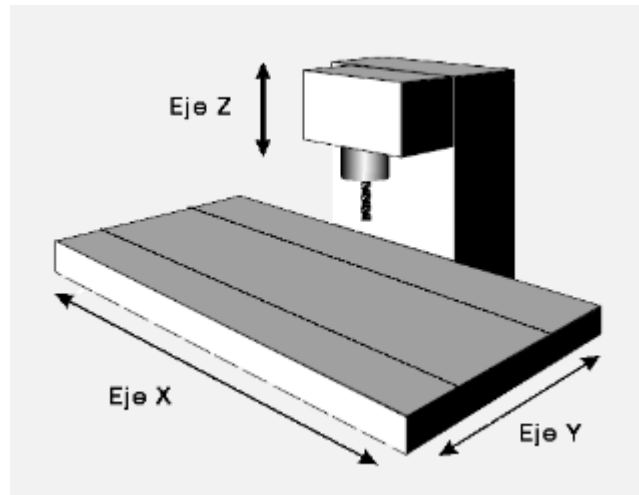


Figura 3-1: Ejes de la máquina CNC.

Fuente: <http://www.cnccontrolapp.com>

1.6.4 Numero de ejes

1.6.3.1 2 ejes

La herramienta se desplaza a lo largo y ancho de una superficie, se refiere sólo al control de la mesa.

1.6.3.2 3 ejes

La herramienta además de desplazarse a lo largo y ancho de una superficie pueden cambiar la altura de la herramienta, es decir el control de la mesa (X e Y) y al del posicionamiento vertical del mandril (Z).

1.6.3.3 4 Ejes

La herramienta además de hacer los movimientos de una máquina de 3 ejes puede o bien rotar la herramienta o rotar la pieza.

1.6.3.4 5 Ejes

La herramienta puede hacer los movimientos de una máquina de 3 ejes y además puede rotar la pieza en 2 direcciones.

1.7 Cortadora a plasma CNC

Se abordara conceptos principales de dos de las partes esenciales de la máquina estas son: electrónica y software.

1.7.1 *Parte electrónica*

Se describirá de manera introductoria las partes electrónicas más significativas en el diseño de una cortadora de plasma CNC

1.7.1.1 *¿Por qué usar Motores paso a paso?*

Es un motor que por su precio y baja complejidad se utiliza cada vez más, por el hecho que fácilmente se pueden controlar por el puerto LPT1 de un ordenador y que no necesitan un circuito cerrado. Un motor pap combinado con un controlador micropasos puede ofrecer una resolución muy alta. (Productoscnc, 2011)

Además entre sus características más notables se tiene:

- El número de pasos que puede realizar suele ser 200. Girando en cada paso 1,8 grados.
- Con un microstep driver los pasos se dividen. (Por ejemplo con un controlador con 40 micropasos, el eje del motor tiene $200 * 40 = 8000$ posiciones posibles con giros de $1,8 / 40 = 0.045$ grados.)
- Tiene un sistema de control en lazo abierto, en contraste con un servo motor.
- El par de motor paso a paso es casi siempre el par de detención, que hace que un motor paso a paso se mantenga firmemente en su posición cuando está parado.
- La inercia del rotor de un eje largo y delgado tiene un valor inferior y es mejor en aceleración y desaceleración.
- El motor paso a paso con una corriente mayor tiene más par a velocidades más altas.
- Exactitud en la posición y repetición de movimientos.
- No necesita mantenimiento ya que no tiene escobillas.

1.7.1.2 *Motor paso a paso*

Palazzesi (2008) explica que un motor paso a paso es un dispositivo electromecánico capaz de convertir una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos. Esto significa que, es capaz de avanzar una serie de grados a la vez, dependiendo del estado de sus entradas de control.

Se comporta de la misma manera que un convertidor digital-analógico y puede ser gobernado por impulsos procedentes de sistemas lógicos, tales como microcontroladores u ordenadores. Son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos.

La característica principal es que puede dar un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de 1.8° , estos pasos son de referencia para un giro completo de 360° , es decir que en pasos de 90° tendremos 4, y en pasos de 1.8° tendremos 200 pasos, para obtener una sola vuelta.



Figura 4-1: Motor paso a paso.

Fuente: <http://www.pololu.com>

Los motores paso a paso más conocidos en el mercado son los motores NEMA de los cuales se puede decir:

NEMA es una asociación con sede en EE.UU. que intenta establecer normas para la fabricación. Para los motores, han elegido una etiqueta que indica el tamaño en primer lugar. Así que un "NEMA 17" tiene una medida de 1,7 por 1,7 pulgadas de panel frontal. Cualquier motor NEMA 17 se monta en los orificios de montaje de otro NEMA 17. Esto le da flexibilidad a los fabricantes más con sus diseños, ya que no tiene que rediseñar el método de montaje del motor sólo porque cambiaron proveedor del motor. (RepRap, 2015)

1.7.1.3 Controlador de motores

También denominados drivers son circuitos electrónicos los cuales son responsables de controlar el movimiento y velocidad de los motores. Los controles pueden tener sensores que indican topes al final de la mesa, además de contadores que indican cuanto se movió

el motor. Los controladores transforman las señales digitales a señales para movimiento del motor.

Generalmente se conectan señales de datos y de potencia para alimentar a un motor con varios amperios pero controlado por señales bajas. En la siguiente imagen se puede observar un chip A4988 de Pololu que es un drivers electrónicos que se usan para controlar motores paso a paso.



Figura 5-1: Chips A4988

Fuente: <http://www.pololu.com>

1.7.1.4 Breakout Board

Es un componente eléctrico común que se encarga de transmitir la información desde el computador a otro dispositivo de una forma fácil y ordenada. Es un elemento común en los proyectos electrónicos y permiten una fácil instalación. El breakout board se coloca entre el ordenador y controlador del motor paso a paso y sirve para dos propósitos en el sistema de control de CNC: protección de circuitos y distribución de señales.

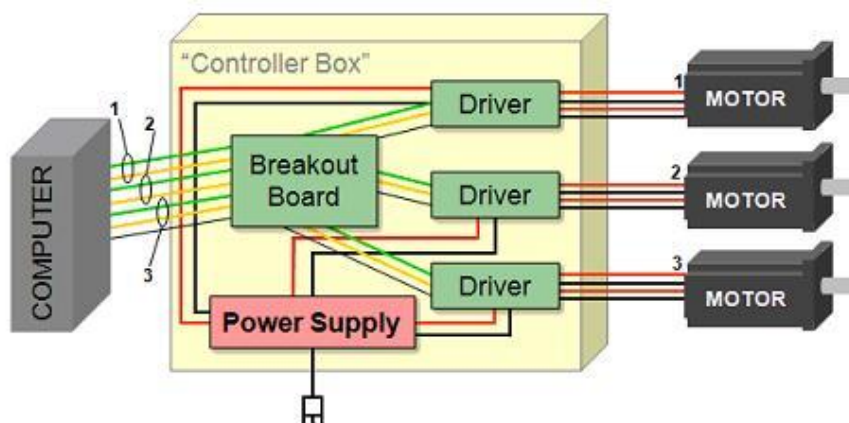


Figura 6-1: Sistema de control CNC

Fuente: <http://www.cncroutersource.com>

La figura 6-1 muestra un diagrama de un sistema de control CNC motor paso a paso. En el cual se observa que desde el computador se envían las señales hacia la Beakout Board en la cual las señales son procesadas y enviadas a los drivers de los motores los cuales estarán conectados a las bobinas de estos encargándose de este modo del movimiento de su respectivo motor.

También muestra una fuente la cual distribuye energía a cada conductor. A la izquierda, hay tres pares de señales procedentes de la computadora, una para cada paso a paso, y una línea de tierra para el retorno como lo indica la pequeña línea negro debajo de los tres pares de cables de señal. El suelo es la cubierta exterior del conector.

1.7.2 Software

Una de las partes más significativas de este proyecto son los softwares por los cuales el operador se comunicara directamente con la máquina.

1.7.2.1 AutoCad

AutoCAD es un programa de diseño asistido por computadora para dibujos en 2D y 3D, es reconocido a nivel mundial por sus grandes capacidades de edición, que facilitan el dibujo digital de planos o recreación de imágenes. Es desarrollado y comercializado por la empresa Autodesk. El término AutoCAD surge como creación de la compañía Autodesk, su primera versión fue en 1982.

Moreno (2013) explica que AutoCAD gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.) con la que se puede operar a través de una pantalla gráfica llamada editor de dibujo. La interacción del usuario se realiza a través de comandos de edición o dibujo, desde la línea de órdenes a la que el programa está fundamentalmente orientado.

Este programa está orientado a la producción de planos, empleando para ello los recursos tradicionales de dibujo como: color, grosor de líneas y texturas tramadas. Las aplicaciones del programa son múltiples, desde proyectos y presentaciones de ingeniería, hasta diseño de planos o maquetas de arquitectura. Como se observa en la figura 7-1.

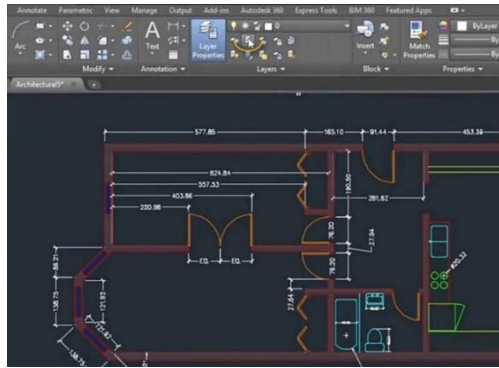


Figura 7-1: Plano en AutoCAD

Fuente: <https://www.lynda.com/in/AutoCAD>

La extensión del archivo de AutoCAD es .dwg, aunque permite exportar en otros formatos como el .dxf, que es el que se usará en este proyecto. El formato .dxf permite compartir dibujos con otras plataformas de dibujo CAD, puede editarse con un procesador de texto básico, por lo que se puede decir que es abierto.

1.7.2.2 Mach3

Mach3 es un programa con el cual a través de un ordenador común se puede controlar una máquina CNC. Tiene varias características y ventajas para el control de estas máquinas. Mach3 trabaja en la mayoría de las PC de Windows para controlar el movimiento de los motores (paso a paso y servo), funciona a través de la lectura de Código G principalmente.

Además incluye muchas características avanzadas, es el software de control CNC más intuitivo disponible. Este software es personalizable y se ha utilizado para muchas aplicaciones con numerosos tipos de hardware. En la figura 8-1 se muestra su pantalla principal.

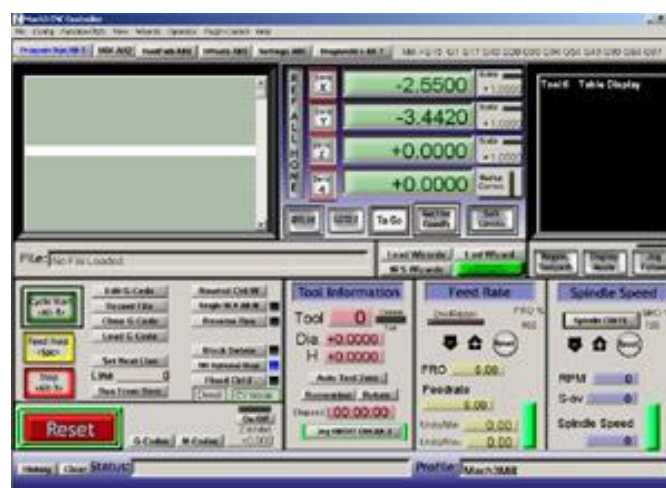


Figura 8-1: Pantalla principal de Match3

Fuente: <http://www.machsupport.com/software/mach3/>

Entre sus ventajas y funciones básicas principales se puede resaltar:

- Convierte una PC estándar en un controlador CNC hasta de 6 ejes.
- Permite la importación directa de archivos: DXF, BMP, JPG y HPGL a través de LazyCam
- Visualización de Código G
- Genera Código G a través de LazyCam o Wizards
- Interfaz completamente personalizable
- M-Códigos y macros personalizables.
- Control de velocidad del husillo
- Control de múltiples relés
- Generación manual de pulsos
- Visualización de vídeo de la máquina
- Capacidad de pantalla táctil
- Elegibilidad de pantalla completa
- Etc.

1.7.2.3 LazyCam

LazyCam es un software de manufactura que se encarga de convertir archivos dxf estándar, cmx, y otros tipos de archivos en código G para generar los programas CNC. Permite escoger la operación que se va a ejecutar (mill, turn, plasma o foam cutting), además de las unidades en las que se va a trabajar. En la figura 9-1, se muestra su pantalla principal.

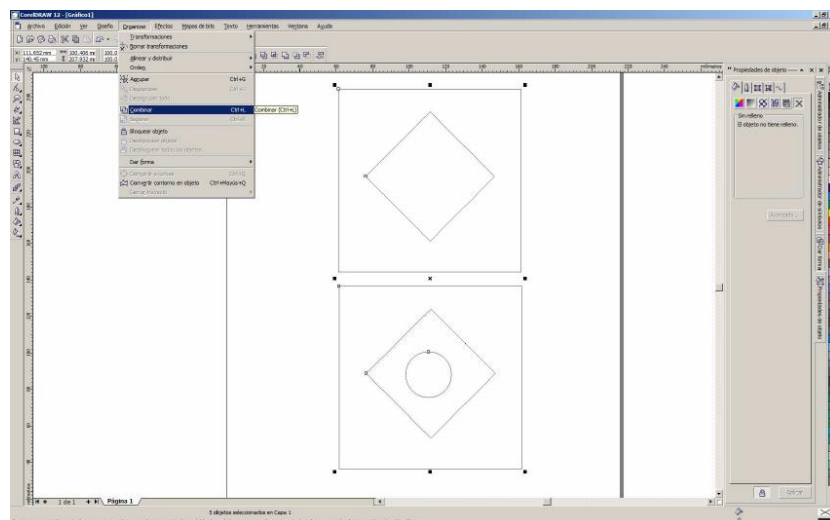


Figura 9-1: Pantalla de LazyCam

Fuente: <http://myslide.es/documents/tutorial-basico-lazy-cam.html>

1.7.3 Código G

El código G, es el lenguaje de operación para máquinas CNC, también se usa como lenguaje de programación para el control de estos dispositivos, se almacena en formato texto, por lo cual puede modificarse con un editor de texto, aunque habitualmente se genera y visualiza desde una aplicación de modelado y/o fabricación 3D o alguna herramienta o accesorio específico.

Desde que se estandarizó en los 80 como ISO 6983, el G-Code es el lenguaje más utilizado en la fabricación por ordenador. Aunque existen ampliaciones e implementaciones de algunos fabricantes así como estándares alternativos al internacional en algunos países, es más que probable que cualquier máquina de control numérico moderna sepa interpretar el G-Code básico. (Ventura, 2014).

El código G es una de las programaciones más importantes con respecto al CNC, estas controlan el desplazamiento de la máquina al realizar un trazo, los valores utilizados en estos comandos van desde 00 a 99, realizando así una función determinada, entre los más significativos tenemos los mostrados en la tabla 11.2.

Tabla 11-2: Comandos en código G.

Comando	Descripción
G00	Interpolación Lineal Rápida.
G01	Interpolación lineal a la velocidad programada en el registro F.
G02	Movimiento Circular en el sentido horario Feedrate.
G03	Movimiento Circular en el sentido anti-horario Feedrate.
G04	Es una demora o una pausa con un tiempo específico.
G17	Selección del Plano X-Y
G18	Selección del Plano X-Z
G19	Selección del Plano Y-Z
G40	Compensación anulada, o al centro de la línea de desplazamiento.
G41	Compensación a la Izquierda de la línea de desplazamiento.
G42	Compensación a la Derecha de la línea de desplazamiento.
G70	Unidad de Datos expresados en Pulgadas.
G71	Unidad de Datos expresados en Milímetros.
G90	Desplazamiento en Modo Absoluto.
G91	Desplazamiento en Modo Incremental o Relativo.

Fuente: <http://r-luis.xbot.es/cnc/codes03.html>

1.7.3.1 Interpolaciones Lineales (G00 y G01)

La interpolación es un proceso mediante el cual conociendo dos puntos que toma una función se determina, con cierto grado de exactitud, un tercer punto comprendido entre los dos valores iniciales. Estos comandos representan interpolaciones lineales o movimientos lineales.

G00 es un movimiento rápido, sin contacto entre la herramienta y la pieza de trabajo, es decir se desplaza sin realizar algún corte.

G01 realiza un movimiento lineal, pero cortando el material.

1.7.3.2 Interpolaciones Circulares o Movimientos Circulares (G02 y G03)

Estos comandos dan como resultado un movimiento será circular.

- **G02** en sentido Horario.
- **G03** en sentido Anti-horario.

Además existen dos formas de realizar un Arco o un círculo:

- Utilizando el Radio (R)
- Indicando el centro de la curva por las coordenadas (I, J, K).

1.7.3.3 Trazado de Arcos Utilizando el Radio (R):

Si el centro de la curva está dado por el Radio (R), hay dos posibilidades, -R o +R:

- **-R**, significa que el centro del radio se encuentra del lado Izquierdo de la línea imaginaria que une los puntos Inicial y Final de la curva como se muestra en la figura 10-1.

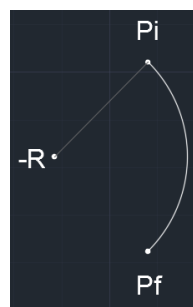


Figura 10-1: -R

Realizado por: Naranjo A., 2017

- **+R**, significa que el centro del radio se encuentra del lado Derecho de la línea imaginaria que une los puntos Inicial y Final de la curva como se muestra en la figura 11-1.



Figura 11-1: +R

Realizado por: Naranjo A., 2017

1.7.3.4 Trazado de Arcos Utilizando los comandos I, J y K

El comando K se utiliza cuando tu máquina trabaja en 3D.

En el caso anterior con el comando R la ubicación del radio se obtenía automáticamente, pero en este caso el comando I, J indica la ubicación del radio ya que estas representan sus coordenadas. El número con **I** será la ubicación respecto del eje **X** y el que acompañe a **J** será la ubicación respecto del eje **Y**.

1.7.3.5 Selección del Plano (G17, G18, G19)

Cuando se trabaja en 3D, se tiene tres vistas al usar los 3 ejes X Y y Z, siendo importante conocer en que vista estas ubicado, estas vistas se muestran de mejor manera en la imagen 12-1.

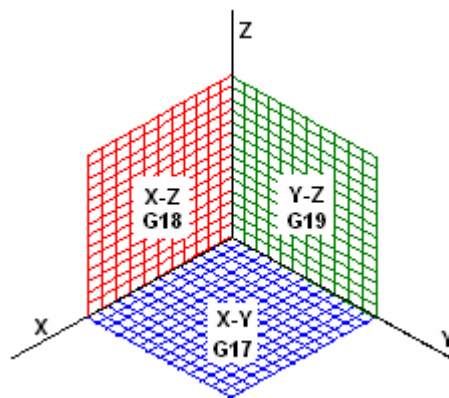


Figura 12-1: Planos en X Y y Z

Fuente: <http://r-luis.xbot.es/cnc/codes03.html>

En el caso de esta máquina solo se trabaja en 2D, es decir, solo se utilizara el plano X-Y (G17).

1.7.3.6 Funciones Preparatorias - Compensaciones (G40, G41, G42)

La compensación es un pequeño desplazamiento de la herramienta sobre la línea de corte, es decir cortar:

- En el centro de la línea (G40)
- A un lado derecha (G42)
- A un lado izquierda (G41). Aquí tienes una imagen en donde se ven las tres compensaciones posibles.

Estos movimientos se pueden observar gráficamente en la figura 13-1.



Figura 13-1: Compensaciones

Fuente: <http://r-luis.xbot.es/cnc/codes03.html>

1.7.3.7 Unidad de Datos (G70, G71)

Esta máquina trabaja internamente por medio de puntos y la relación de estos con Pulgada (G70) o Milímetros (G71), con estos datos se dimensionara las piezas que se diseñan. Estos comandos se pueden omitir ya que en este caso el software utilizado en la interface principal permite ajustar las unidades en que se desea trabaja y fijarlas para el resto de los trabajos.

1.7.3.8 Modos de Desplazamiento (G90, G91)

Estos dos comandos son muy importantes ya que definen el desplazamiento sobre cada eje. Previamente se tiene un punto de referencia para las coordenadas, generalmente es el punto (0,0) con este origen se tiene:

- El comando **G90**, Modo Absoluto, significa que los valores en las coordenadas X, Y serán referidos en base a ese punto de origen.
- El comando **G91**, Modo Incremental o Relativo, significa que las coordenadas X, Y utilizaran el punto de referencia solo en el primer trazo, a partir de este, el último punto será el punto de referencia para el próximo desplazamiento.

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

2.1 Automatización de una cortadora a plasma CNC

Realizar un proyecto de automatización es muy importante dentro de un proceso de producción ya que brinda varias ventajas significativas para el ahorro de recursos importantes para la empresa, tales como: tiempo de fabricación automático comparado con el proceso realizado, minimización de errores, menos operadores para una misma tarea, entre otros.

Para el desarrollo de este proyecto será dividido en 3 etapas principales: Electrónica, Mecánica y Software, las cuales son las bases para que el funcionamiento de esta máquina sea el adecuado y de este modo se facilitara su comprensión presentándolo de una manera más organizada.

En este capítulo se detallará las etapas de la construcción de la máquina desde la selección de los elementos y programas adecuados según los requerimientos de la producción de la empresa hasta la implementación de la misma y su proceso de operación.

La empresa tiene requerimientos específicos los cuales son bases para todo el diseño de la mesa. Entre los requerimientos más importantes nombrados por la empresa y en relación a investigaciones de otras mesas CNC tenemos:

- La precisión en el corte no debe sobrepasar de 1 mm de error.
- La velocidad de la máquina debe ser variable.
- La velocidad de corte debe ser constante.
- La alimentación de la máquina debe ser 110 V o 220 V
- Los cables deben estar correctamente sujetos de modo que no interfieran en el movimiento de la máquina.
- La mesa debe incorporar un paro de emergencia.
- Se debe tener protecciones contra sobrecarga o cortocircuito.

2.2 Parte Mecánica

2.2.1 Planchas de metal

Como es el elemento principal a ser utilizado se requiere un análisis del tamaño y espesor que se pueden conseguir en el mercado y principalmente de los materiales que se utilizan en la empresa, por conocimiento de la empresa todas las planchas de adquieren de 244x122 mm y el grosos variará de acuerdo a la necesidad.

2.2.2 Velocidades de corte

Dado que esta máquina permitirá realizar trabajos en diferentes tipos de materiales, es importante analizar las velocidades de corte ya que dependiendo el tipo de material y su espesor la velocidad de corte varía y la máquina debe adaptarse a estos para realizar el corte de mejor manera como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 1-2: Velocidades óptimas de corte.

VELOCIDADES ÓPTIMAS DE CORTE			
Material	Espesor (mm)	Velocidad máxima de corte (mm/min)	Velocidad óptima de corte (mm/min)
Acero al carbón	0.8	12700	8255
	6.4	1880	1219
	12.7	1524	991
	25.4	406	254
Acero inoxidable	0.8	12598	8179
	6.4	1194	484
	12.7	1270	838
	25.4	356	229
Aluminio	0.8	15494	10084
	6.4	1930	1245
	12.7	1905	940

Fuente: Reinoso Naranjo, Martín. 2012 (Diseño, construcción, programación de software y protocolo de transferencia de datos de una mesa de corte CNC por plasma a ser usada en el corte de planchas de acero inoxidable.)

2.2.3 Mesa de corte

El diseño y construcción de la mesa de corte es una de las partes más significativas en la construcción de una máquina CNC, esto es muy importante dentro del proceso de

producción ya que esta influye directamente en la precisión del movimiento de los ejes los cuales están relacionados con la precisión en el corte de las piezas.

Se empezará por diseñar la estructura de la máquina considerando el tamaño solicitado por la empresa y la necesidad de desplazamiento en los tres ejes x, y, z

- Longitud en X= 1500 mm
- Longitud en Y = 3000 mm
- Recorrido longitudinal en X= 1300 mm
- Recorrido transversal en Y = 2900 mm
- Recorrido vertical Z = 70 mm
- Superficie de la mesa longitudinal $a*b = 1500*3000 = 4500000 \text{ mm}^2$
- Superficie útil de la mesa longitudinal $a*b = 1300*2900 = 3770000 \text{ mm}^2$
- Longitud extra del eje X = $1500 - 1300 = 200 \text{ mm}$
- Longitud extra del eje Y = $3000 - 2900 = 100 \text{ mm}$
- Altura de la mesa = 800 mm
- Altura de la mesa con riel = 840 mm
- Riel = 40 x 40 x 3 mm

Estas medidas se resumen a continuación en las figuras 14-2 y 15-2 donde se observa gráficamente el diseño gráfico de la mesa de corte.

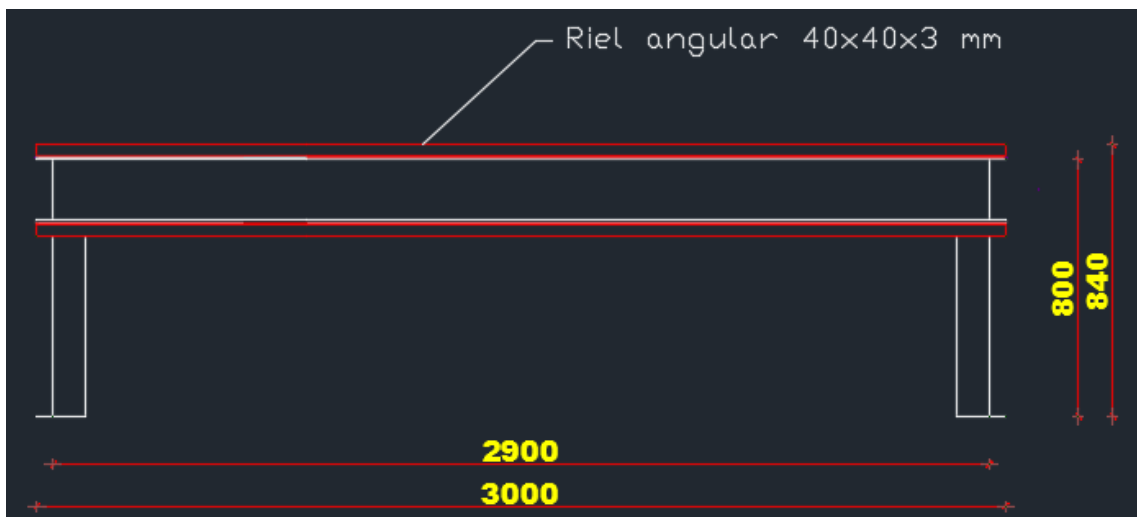


Figura 14-2: Vista lateral de la mesa de corte

Realizado por: Naranjo A., 2017

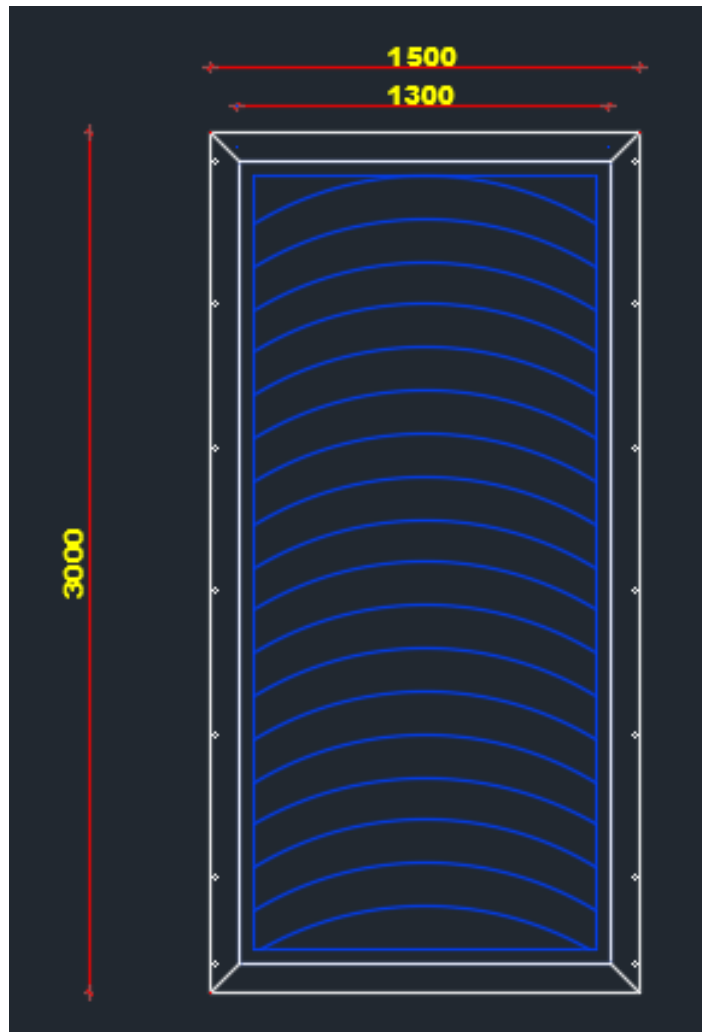


Figura 15-2: Vista superior de la mesa de corte

Realizado por: Naranjo A., 2017

La mesa de corte está realizada en acero al carbono ASTM A36, este material es muy utilizado en estructuras metálicas por su versatilidad, bajo costo y se encuentra fácilmente en el mercado además tiene un límite de fluencia lo suficientemente alto para soportar las cargas por el peso de la plancha que en el peor de los caso va a ser de 280 Kg que corresponde al peso de una plancha de acero de 12 mm de espesor.

2.2.4 Rieles

2.2.4.1 Rieles longitudinales

Los rieles longitudinales son de perfil angular de acero al carbono ASTM A36 40x40x3 mm y sirven para sujetar las ruedas del trole de tracción, se encuentran ubicados al borde

de las vigas en la parte superior en inferior, en el proceso de instalación deben ser perfectamente alineados y paralelos.

Los rieles longitudinales tienen una longitud de 3000 mm, estos rieles se observan gráficamente en la figura 14-2. Representados de color rojo.

2.2.4.2 Rieles transversales

Los rieles transversales son de perfil angular de acero al carbono ASTM A36 40x40x3 mm y sirven para sujetar las ruedas del trole de tracción, se encuentran ubicados al borde de la viga tubular transversal en la parte superior en inferior, en el proceso de instalación deben ser perfectamente alineados y paralelos. Tienen una longitud de 1500 mm.

En la figura 16-2, se puede observar los rieles transversales en la mesa de corte, representados de color rojo.

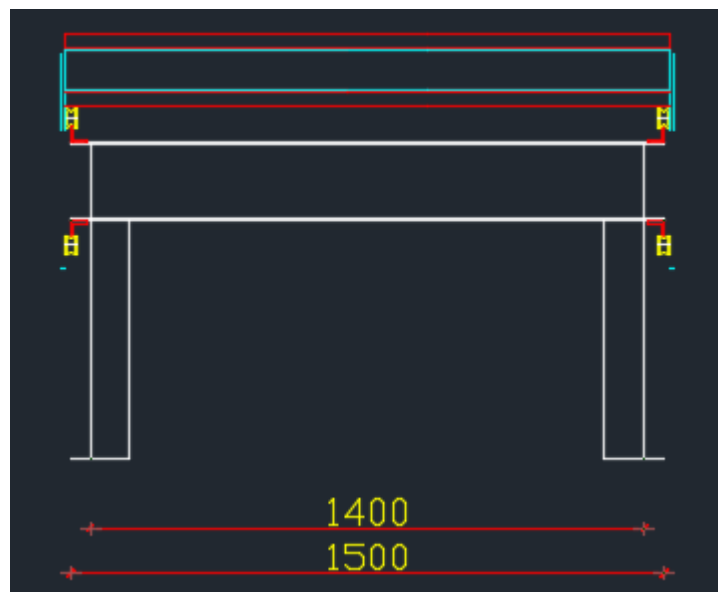


Figura 16-2: Vista frontal de la mesa de corte

Realizado por: Naranjo A., 2017

2.2.5 Viga tubular transversal

La viga tubular transversal es el elemento que va a permitir el movimiento a lo ancho de la mesa y soportara también el cabezal para que la antorcha del soplete pueda deslizarse de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

La viga transversal está construida en perfil tubular cuadrado ASTM A36 de 100x100x2 mm de esa manera nos permite estabilidad al riel que esta adosado en el filo superior e inferior del perfil. Tiene un peso aproximado de 8kg. En la figura 12-2 se encuentra representada de color cian.

2.2.6 Cabezal superior

Está instalado en la parte superior del trole transversal, es accionado a través de un tornillo de potencia de 19 mm de diámetro y al girar solidario con el eje del motor la tuerca que recorre solidaria a la deslizadera permitiendo que la antorcha pueda moverse de arriba hacia abajo.

El material del que está construido el cabezal es en acero al carbono ASTM A36, mientras que el tornillo de potencia es de acero inoxidable para evitar la oxidación de la rosca y el eventual atascamiento. En la figura 17-2 se puede observar el diseño del cabezal con visualización frontal y lateral respectivamente.

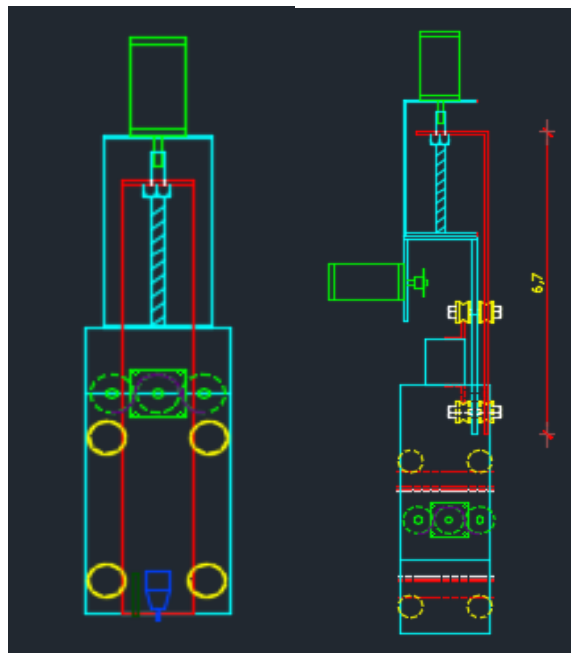


Figura 17-2: Vista frontal y lateral del cabezal.

Realizado por: Naranjo A., 2017

2.2.7 Movimientos X Y Z

2.2.7.1 El movimiento longitudinal Y

El movimiento longitudinal Y será a través de un motor paso a paso en cuyo eje se acopló un piñón para cadena paso 40, el mismo que engranado a 2 piñones con rotación libre hacen el avance del trole longitudinal sea a lo largo de una cadena que se encuentra empotrado en los 2 extremos de la mesa.

2.2.7.2 El movimiento transversal X

El movimiento transversal X será a través de un motor paso a paso en cuyo eje se acopló un piñón para cadena paso 40, el mismo que engranado a 1 piñón con rotación libre hacen el avance del trole transversal sea a lo largo de una cadena que se encuentra empotrado en los 2 extremos de la viga tubular transversal.

2.2.7.3 El movimiento vertical Z

El movimiento vertical Z será a través de un motor paso a paso en cuyo eje esta acoplado una junta con un tornillo de potencia, al girar el tornillo en sentido horario o anti horario produce el movimiento de la tuerca que esta acoplada a una corredera y su desplazamiento en sentido Y, es decir hacia arriba y hacia abajo.

En la figura 18-2 se observa gráficamente la ubicación de los tres motores paso a paso que se encargaran de los movimientos XYZ, observando de arriba hacia abajo el motor encargado del movimiento en Z, seguido del motor encargado del movimiento en X y finalmente el motor encargado del movimiento en Y.

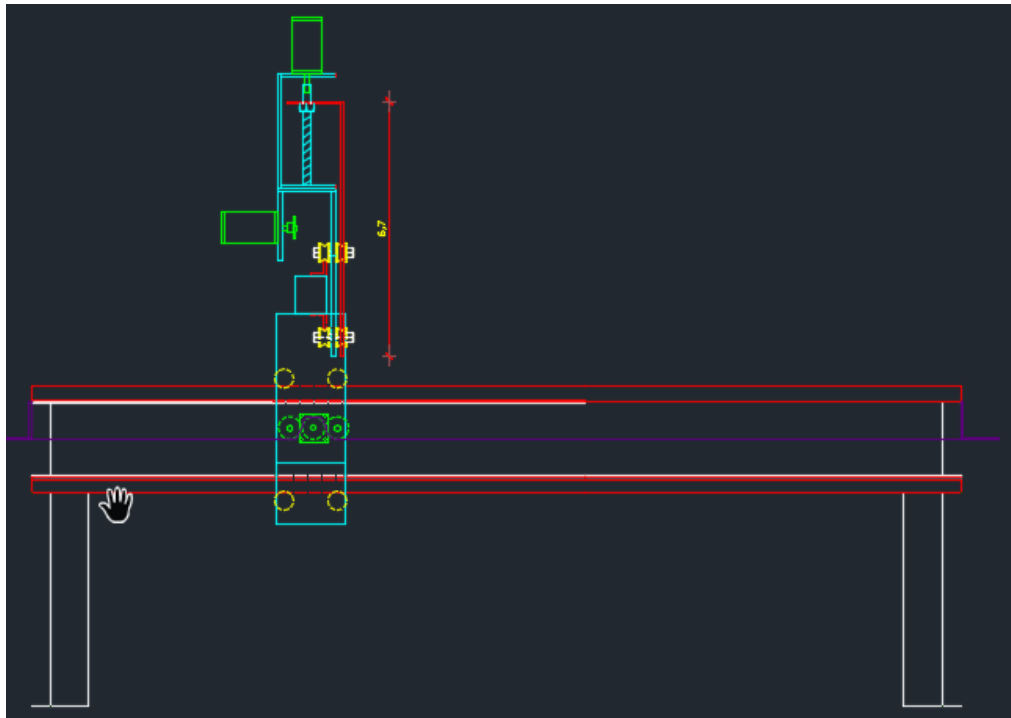


Figura 18-2: Vista de motores encargados del movimiento XYZ

Realizado por: Naranjo A., 2017

2.2.8 Trole de tracción

El mecanismo de tracción es un bastidor de forma de perfil U, en el cual están acopladas 4 ruedas con rodamientos, los piñones de tracción y el motor paso a paso, el peso aproximado de este dispositivo es de 30 Kg, este trole de tracción está instalado en los rieles longitudinales y transversales. En la figura 19-2 se observa el diseño de las base del trole de tracción.

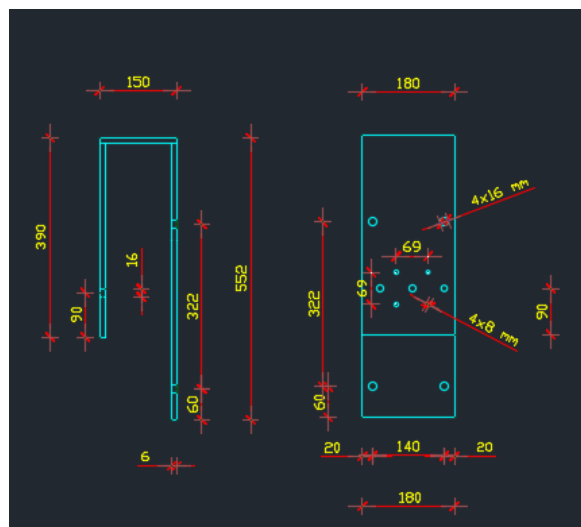


Figura 19-2: Trole de tracción.

Realizado por: Naranjo A., 2017

2.2.9 Rodamientos

El sistema de tracción tiene en su lado que se encuentra en volado con 2 chumaceras con rodamiento estas sirven para disminuir la fricción de los ejes que soportan los piñones y de esta manera permitir que el movimiento sea más suave por disponibilidad se puso chumaceras para eje de 19 mm de diámetro. Como se observan en la figura 20-2.



Figura 20-2: Chumacera.

Fuente: <http://precise-bearing.es/products/7-2-3b.jpg>

2.2.10 Ruedas

Las ruedas de los troles tienen doble propósito el primero es de rodar sobre la riel en un canal tipo V para que no se descarrile el trole, en las ruedas están alojada rodamientos de bolas para eje de 10 mm y el segundo propósito es el de trasladar en movimiento lineal el movimiento circular del motor.

El diámetro de las ruedas es de 40 mm ya que el diámetro exterior del rodamiento para eje de 10 mm es de 25 mm. Este tipo de ruedas se observan en la figura 21-2.



Figura 21-2: Rueda.

Fuente: <https://es.aliexpress.com>

2.2.11 Piñones

Son engranajes que acoplados a la cadena de un mismo paso, para este caso paso 40 de módulo 4 transforman el movimiento circular en movimiento lineal ya que al girar el piñón sobre la cadena se va a tener un desplazamiento lineal, el diámetro de los piñones es de 80 mm y se los instaló por disponibilidad de los mismos. Estos piñones se observan en la figura 22-2.



Figura 22-2: Piñones.

Fuente: <https://es.aliexpress.com>

2.2.12 Análisis de los pasos del motor

Para determinar la distancia que recorre el motor en una vuelta, se realizaron los siguientes cálculos:

$$D = mN \quad (1)$$

$$Do = m(N + 2) \quad (2)$$

Donde:

D = Diámetro de paso

m = Módulo

N = Número de dientes

Do = Diámetro exterior

Datos:

m=4

Do=80

∴ de la ecuación 2

$$80 = 4(N + 2)$$

$$N = 18 \text{ Dientes}$$

Por lo cual aplicando la ecuación 1 se obtendrá el diámetro de paso.

∴ de la ecuación 1

$$D = 4 * 18$$

$$D = 72 \text{ mm}$$

Con el diámetro de paso calculamos la distancia que recorre por medio de la fórmula del perímetro de un círculo.

$$P = 2\pi \frac{D}{2}$$

$$P = 226.195 \text{ mm}$$

Con este valor se conoce cual el desplazamiento realizado cada vez que el motor complete una vuelta, es decir, en cada vuelta recorre 226.195 mm. Para el corte el error máximo que puede tener es de 1 mm.

En la imagen 23-2 se muestra una pieza de 7x4 mm, se puede observar el rango de error permitido, el cual se visualiza en color blanco, mientras el corte se mantenga dentro de este rango es aceptable.

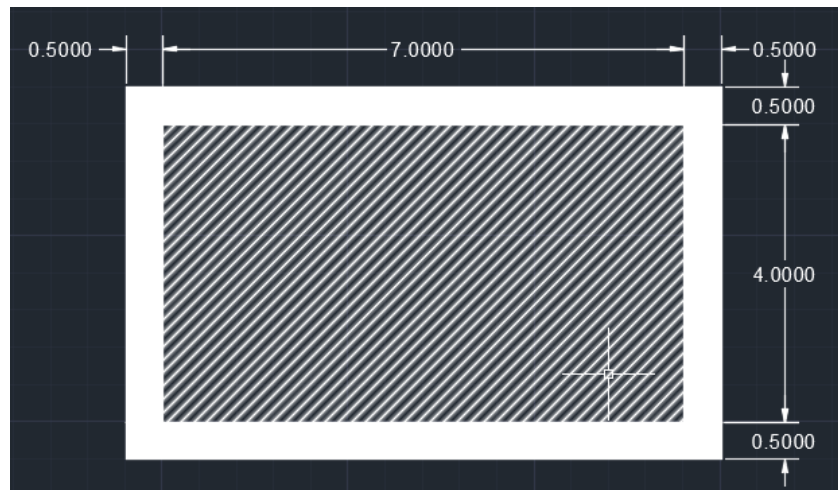


Figura 23-2: Rango de error.

Realizado por: Naranjo A., 2017

Para conocer cuántos son los pasos de error dentro del rango aceptable se procede a calcular:

Número de pasos por vuelta = distancia recorrida en una vuelta / error máximo

$$\frac{226.195}{0.5} = 452.39 = 452$$

Es decir el motor se debe detener 452 veces en una sola vuelta para respetar el rango de error. Analizando uno de los materiales más utilizados como es el acero inoxidable, se toma los datos de la tabla 1-2 y se sabe que la velocidad de corte más alta es 12598

mm/min para un espesor de 0.8 y velocidad de corte más baja es 229 mm/min para un espesor de 25.4 mm.

Con los datos anteriores se procede a definir el rango de velocidad que se debe mantener.

El tiempo se calcula con la forma básica: distancia= velocidad x tiempo

$$tv_{max} = \frac{226.195}{12598} = 0.01795$$

$$tv_{min} = \frac{226.195}{229} = 0.98775$$

Para representar este tiempo en revoluciones por minuto se procede a calcular:

$$RPM = \frac{1}{t}$$

$$RPM_{max} = \frac{1}{tv_{max}}$$

$$RPM_{max} = \frac{1}{0.01795} = 55.7 \text{ rpm}$$

$$RPM_{min} = \frac{1}{tv_{min}}$$

$$RPM_{min} = \frac{1}{0.98775} = 1.012 \text{ rpm}$$

Entonces estos serían los requerimientos básicos para el funcionamiento del equipo.

2.3 Parte electrónica

2.3.1 Motores

Para seleccionar los motores indicados para cada proceso, se realizó una tabla donde describe ciertos parámetros de vital importancia para que los tres motores sean seleccionados de mejor manera de acuerdo a su utilización en el proceso de corte mostrándose así la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Selección de motores.

SELECCIÓN DE MOTORES					
Motor	Fase	Paso	Voltaje	Corriente	Torque
Nema 34	2	1.8 \pm 5%	5.7 V	3.5 A/ Fase	11.3 Nm
Nema 34	2	1.8 \pm 5%	6.4 V	2 A/ Fase	6.2 Nm
Nema 23	2	1.8 \pm 5%	6.4 V	3 A/ Fase	3 Nm
Nema 23	2	1.8 \pm 5%	3 V	3 A/ Fase	1.8 Nm
Nema 17	2	1.8 \pm 5%	3.1 V	1.7 A/ Fase	0.59 Nm
Nema 17	2	1.8 \pm 5%	3 V	1.5 A/ Fase	0.28 Nm

Realizado por: Adriana Naranjo, 2017.

Se van a utilizar 3 motores, uno para cada eje, es decir 3 motores por lo cual para escoger el indicado no basaremos principalmente en el peso que cada uno debe soportar. Como se muestra en las tablas 3-2, 4-2 y 5-2

Tabla 3-2: Peso en Z.

Cantidad	Descripción	Peso individual (kg)	Peso total (kg)
1	Bastidor	10	10
1	Motor	5	5
1	Tornillo de potencia	4	4
1	Deslizadera con tuerca	4	4
Total Z			23

Realizado por: Adriana Naranjo, 2017.

Tabla 4-2: Peso en X.

Cantidad	Descripción	Peso individual (kg)	Peso total (kg)
1	Bastidor	15	15
1	Motor	5	5
4	Ruedas	1.5	6
1	Piñón	3	3
1	Eje	1	1
Total X			30

Realizado por: Adriana Naranjo, 2017.

Tabla 5-2: Peso en Y.

Cantidad	Descripción	Peso individual (kg)	Peso total (kg)
2	Bastidor	15	30
1	Motor	5	5
8	Ruedas	1.5	12
4	Piñón	3	12
4	Eje	1	4
2	Rodamiento	6	12
Total Y			75

Realizado por: Adriana Naranjo, 2017.

2.3.1.1 Selección

Para seleccionar el motor se calculará el peso que cada motor debe soportar en cada eje, basándonos en las tablas 3-3, 3-4 y 3-5.

Peso en

$Z = 23 \text{ kg.}$

$X = \text{Total en Z} + \text{Total en X} = 23 \text{ kg} + 30 \text{ kg} = 53 \text{ kg.}$

$Y = X + \text{Total en Y} = 53 \text{ kg} + 75 \text{ kg} = 128 \text{ kg.}$

El motor que más peso soporta es el motor Y por lo cual revisando a tabla 3-2 se escogió el motor nema 34 con un torque de 11.3 Nm. Y por motivos económicos los otros ejes también llevarán el mismo motor ya que su torque es superior al necesitado y el paquete de nema 34 de 3 motores es más económico que comprar individualmente cada motor.

2.3.1.2 Nema 34

El motor escogido tiene doble eje además de las características que se observan en la tabla 6-2.

Tabla 6-2: Motor Nema 34 características.

Descripción	Valor	Unidad
Modelo	34HS5435C-02B2	
Pasos	1.8	°
Largo motor	151	mm
Voltaje	5.7	V
Corriente	3.5	A
Resistencia	1.9	Ω
Inductancia	22	mH
Torque	1600	oz.in
Cables	4	
Peso	5	kg

Realizado por: Adriana Naranjo, 2017.

2.3.1.3 Bobinas del motor

El motor posee 4 cables los cuales se explican en la imagen 24-2 donde se observa los 4 cables de las bobinas representados por sus colores respectivos.

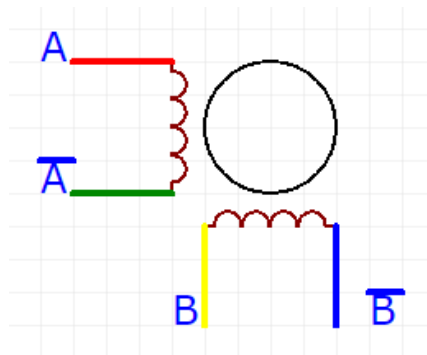


Figura 24-2: Bobinas del motor.

Realizado por: Naranjo A., 2017

2.3.1.4 Dimensión

Para el diseño mecánico se tomó en cuenta las dimensiones del motor que son las que se muestran en la figura 25-2 y 26-2.

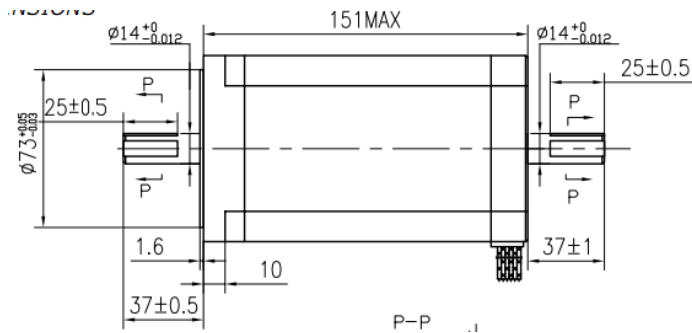


Figura 25-2: Vista lateral motor nema 34.

Fuente: <http://i.ebayimg.com>

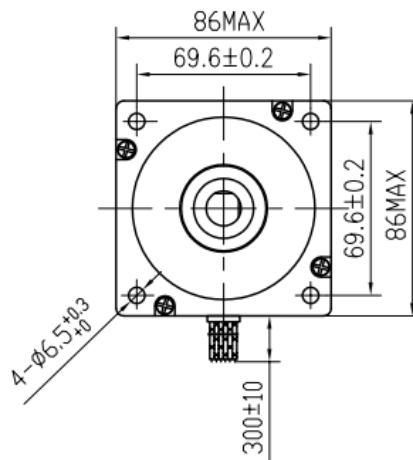


Figura 26-2: Vista frontal motor nema 34.

Fuente: <http://i.ebayimg.com>

2.3.2 Controlador de motores

El driver consta de una entrada de alto voltaje para conectar la energía que va a los motores, además de la salida para el motor, donde se conectan los cables del motor a controlar. Su control depende del fabricante, pero generalmente se alimenta la señal de paso con una onda cuadrada que genera el movimiento y según su frecuencia se controlara la velocidad y cantidad de pasos.

Los voltajes pueden cambiar entre driver por lo cual es importante leer al manual del fabricante y una vez se seleccionen los motores se pueda escoger la mejor opción para hacerlos funcionar correctamente.

Para el control de los motores se usó el driver DM860A, como se observa en la figura 27-2, que es un controlador de motores paso a paso, cuyo voltaje es de 24VDC a 80VDC. Controla motores paso a paso bifásicos con diámetro exterior de 57mm a 110mm y corriente de fase inferior a 8.0A. En la figura 20-2 se puede observar dicho controlador.

Este circuito es similar al circuito del servo control que permite al motor funcionar sin problemas sin ruido y vibración, es ampliamente utilizado en dispositivos de control numérico grandes tales como máquinas del CNC, máquinas de embalaje, etc.

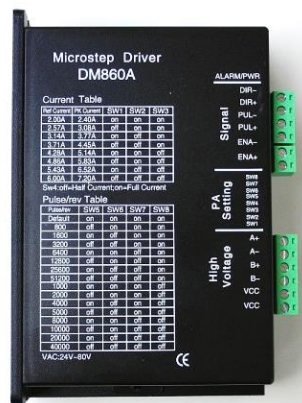


Figura 27-2: Controlador DM860A

Fuente: <https://www.cncpart.hu/dm860a>

2.3.2.1 Características:

- Alto rendimiento, bajo precio
- Control de corriente media, accionamiento de corriente de salida sinusoidal de 2 fases
- Tensión de alimentación de 24VDC a 80VDC
- E / S de señal opto-aislada
- Sobretensión, bajo voltaje, sobre corrección, protección de cortocircuito de fase
- Subdivisión de 14 canales y reducción automática de la corriente de ralentí
- Ajuste de corriente de fase de salida de 8 canales
- Terminal de entrada de comandos sin conexión
- Alta velocidad de arranque

2.3.2.2 Especificaciones eléctricas

Tabla 7-2: Controlador especificaciones eléctricas.

Voltaje de entrada	24-80VDC
Corriente de entrada	< 6 A
Corriente de salida	2.8A ~ 7.8 A
Consumo	Consumo : 80W ; Seguro Interno : 10A
Temperatura	Temperatura de trabajo: -10 ~ 45°C ; Temperatura de almacenamiento; -40°C ~ 70°C
Humedad	No condensación, no gotas de agua
Gas	Prohibición de gases combustibles y polvo conductor
Peso	5 Kg

Fuente: <https://www.cncpart.hu/dm860a>

2.3.2.3 Asignaciones de pines y descripción

Tabla 8-2: Pines principales.

Pin Función	Detalle
PUL +	Es el extremo positivo de la entrada de impulsos.
PUL-	Es el extremo negativo del pin de entrada de pulso.
DIR+	Es el extremo positivo del pin de entrada de dirección.
DIR-	Es el extremo negativo de la entrada de dirección pin.
ENBL+	Es el extremo positivo del pin de entrada de dirección. Esta señal se utiliza para activar / desactivar el controlador. Nivel alto para habilitar el controlador y nivel bajo para deshabilitar el controlador.
ENBL-	Es el extremo negativo del pin de entrada y dirección. Generalmente no conectado (habilitado)

Fuente: <https://www.cncpart.hu/dm860a>

El ajuste de micropasos se lo realiza mediante los switch 5, 6, 7,8 del conmutador DIP como se muestra en la tabla 9-2.

Tabla 9-2: Pines revoluciones.

SW5	On	Off	On	Off	On	Off	On	Off	On	Off	On	Off	On
SW6	On	On	Off	Off	On	On	Off	Off	On	On	Off	Off	On
SW7	On	On	On	On	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	Off
SW8	On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off
Pulse/ Rev	400	800	1600	3200	6400	12800	25600	51200	1000	2000	5000	10000	25000

Fuente: <https://www.cncpart.hu/dm860a>

El SW 4 se utiliza para ajustar la corriente de reposo:

- Off significa que la corriente de paro está configurada para ser la mitad de la dinámica seleccionada.
- On significa que la parada se establece para ser la misma que la corriente dinámica seleccionada.

Los SW 1, 2 y 3 del interruptor DIP se utilizan para ajustar la corriente dinámica. Dicha corriente se ajusta con referencia a la tabla 10-2.

Tabla 10-2: Pines de corriente.

Corrientes de salida (A)				
SW1	SW2	SW3	PEAK	RMS
On	On	On	2.80	2.00
Off	On	On	3.50	2.50
On	Off	On	4.20	3.00
Off	Off	On	4.90	3.50
On	On	Off	5.70	4.00
Off	On	Off	6.40	4.60
On	Off	Off	7.00	5.00
Off	Off	Off	7.80	5.60

Fuente: <https://www.cncpart.hu/dm860a>

2.3.3 Fuente

Para cada motor se decidió trabajar con una fuente de poder independiente, la cual fue recomendada por el proveedor, dicha fuente tiene una potencia eléctrica de 350 W y un voltaje de salida de 60VDC como se observa en la imagen 28-2.

Además para la alimentación de la breakout board, se utilizó una fuente de voltaje de salida de 5 VDC y amperaje de salida de 3.5 A



Figura 28-2: Fuente de poder

Fuente: <http://www.ebay.com>

2.3.4 Breakout board

La breakout board escogida para este proceso es una breakout board para CNC de 6 ejes DB25 adaptada para motores paso a paso, se la observa en la figura 29-2, además cuenta con las siguientes características:

- 6 ejes
- Compatible para KCAM4. MACH 2/3 Y EMC2
- Conector macho Db25
- Pines de salida: P1 - P9, P14, P16, P17
- Pines de entrada: P10 - P13, P15
- GND: P18-P25
- Alimentación de 5V DC

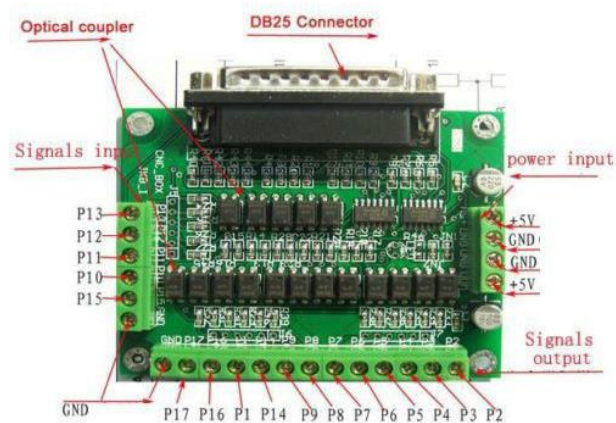


Figura 29-2: Breakout Board

Fuente: <http://i.ebayimg.com>

Se conectaron los pines con la siguiente configuración:

- P2 y P3 para controlar el impulso del eje X
- P4 y P5 para controlar el impulso del eje Y
- P6 y P7 para controlar el impulso del eje Z

2.3.5 Diagrama de conexiones

En la figura 30-2 se muestra la conexión de un motor a su respectivo driver y fuente, a la vez conectado a la breakout board con respecto a los otros dos motores se realiza la misma conexión con la diferencia de los pines de la breakout board que son conectados como se indicó anteriormente.

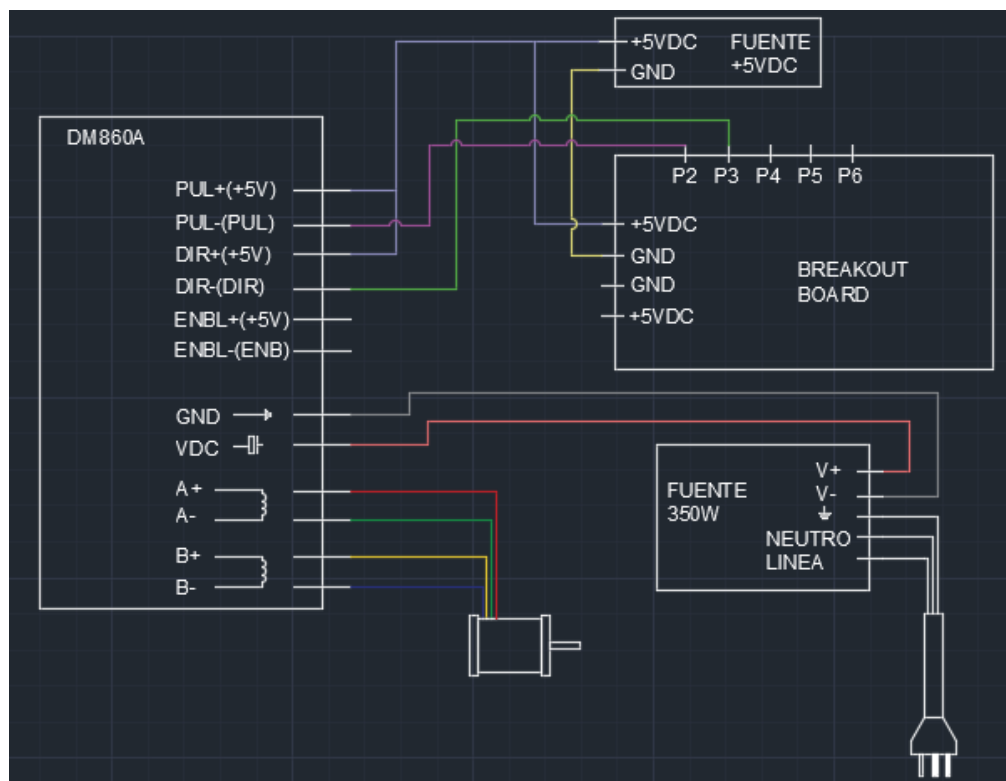


Figura 30-2: Conexión motor – driver – fuente

Realizado por: Naranjo A., 2017

2.4 Software

2.4.1 Configuración de Mach3

Para adaptar este software se necesita de algunas configuraciones las cuales se muestran a continuación.

2.4.1.1 Unidades nativas

Seleccionar unidades nativas (Select Native Unit), Mach3 brinda la facilidad escoger con que unidades trabajar las del sistema métrico (G21) o el sistema inglés (G21), dependiendo la necesidad del operador, en este caso se selecciona el sistema métrico es decir se trabajara en milímetros, como se observa en la figura 31-2.

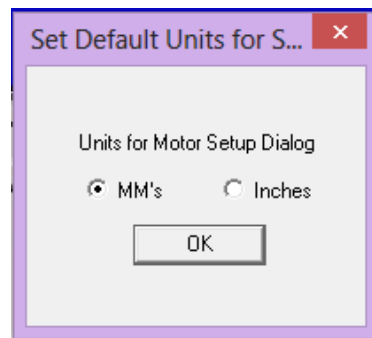


Figura 31-2: Unidades nativas

Realizado por: Naranjo A., 2017

2.4.1.2 Puertos y pines

La ventana de configuración de puertos y pines (Ports and pins) que consta de varias pestañas como se puede observar en la figura 32-2. Empezando por la primera pestaña de configuración de puerto y selección de ejes se habilita el puerto 1 con la dirección de puerto 0x378 que se da por defecto.

También se especifica la frecuencia de trabajo (Kernel Speed); Mach3 permite seleccionar la frecuencia de trabajo la cual será de 25,000 Hz (pulsos por segundo), ya que el procesador del computador es de 1GHz.

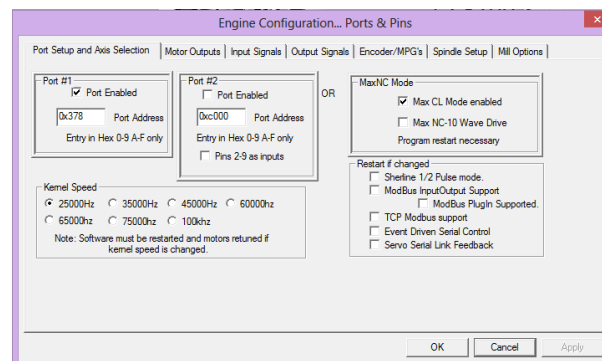


Figura 32-2: Puertos y pines

Realizado por: Naranjo A., 2017

En la pestaña de salidas de motores (Motor Outputs) se habilitan los ejes con los que se va a trabajar activando la función Enabled y se asigna los pines del puerto paralelo reservados para cada eje direccionando las señales de paso (Step Pin#) y dirección (Dir Pin#); el estado de estas señales en DirLowActive y StepLowActive se las deja por defecto.

Finalmente en los datos del puerto Step Port y Dir Port se activan de acuerdo al puerto que se utiliza en este caso todos en el puerto uno; se realiza los mismo pasos para el husillo, observándose como en la figura 33-2.

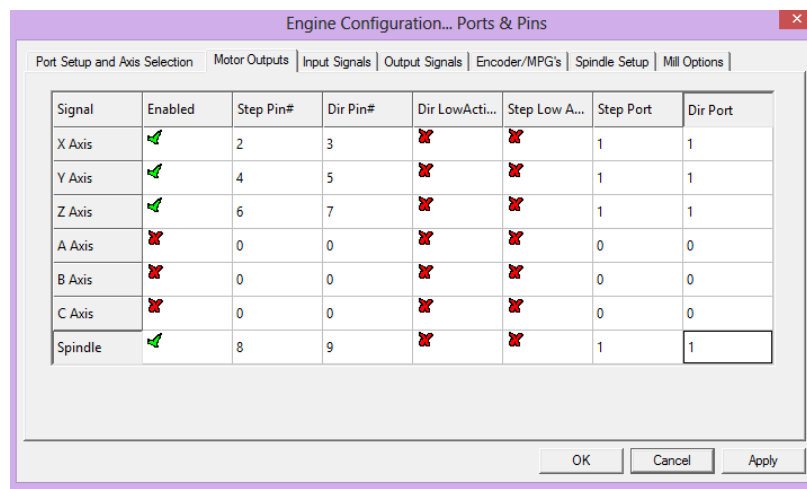


Figura 33-2: Configuración salidas de motores

Realizado por: Naranjo A., 2017

En las señales de entrada (Input Signals) se procese a habilitar el paro de emergencia (EStop) el cual se asigna al puerto 1 en Port # ya que ese que es el que se está utilizando, se ingresa el pin correspondiente en Pin Number, dejando las opciones de Active Low y Emulated como se encuentran por defecto además en HotKey se asigna una tecla la cual también pueda realizar la función de paro de emergencia, como se puede observar en la figura 34-2.

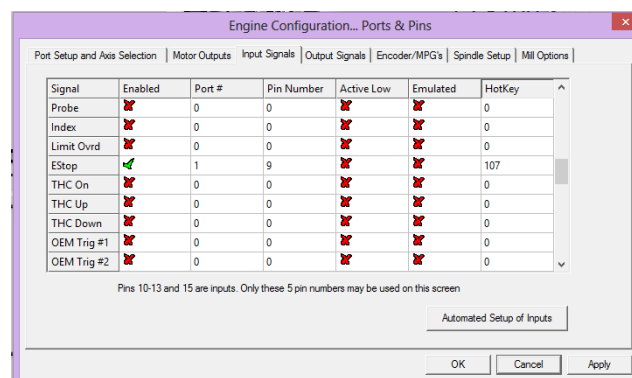


Figura 34-2: Configuración paro de emergencia

Realizado por: Naranjo A., 2017

2.4.1.3 Sintonización de motores

La sintonización de motores (Motor Tuning and Setup), requiere de varios parámetros como: velocidad, aceleración y el número de pasos por unidad de Mach3 en cada ejes, estos datos pueden ser calculados y el software recomienda que una vez calculados estos parámetros se deben realizar pruebas de funcionamiento para afinar estos datos.

Para calcular el número de pasos por unidad de Mach3, se relaciona las unidades mecánicas con los pasos del motor como se observa a continuación:

$$PM = PRM * RMU$$

Donde:

PM= Pasos por unidad Mach3

PRM = Pasos por revolución del motor.

RMU = Revolución del motor por unidad.

Los pasos por revolución del motor dependen del tipo de motor, generalmente un motor paso a paso tiene 200 pasos por revolución y dado que la tarjeta tiene 10 micro pasos por pasos completos, se tiene 2000 pasos por revolución.

En los motores X y Y por medio de pruebas se obtuvo que las revoluciones del motor por unidad es de 0.2, con este dato se puede calcular los pasos por unidad de Mach3 en ambos ejes.

$$PM_X = PRM * RMU$$

$$PM_X = 2000 * 0.2$$

$$PM_X = 400$$

$$PM_Y = PRM * RMU$$

$$PM_Y = 2000 * 0.2$$

$$PM_Y = 400$$

Estos datos se ingresan en la ventana mencionada como se observa en la figura 35-2, repitiendo este proceso en cada uno de los ejes.

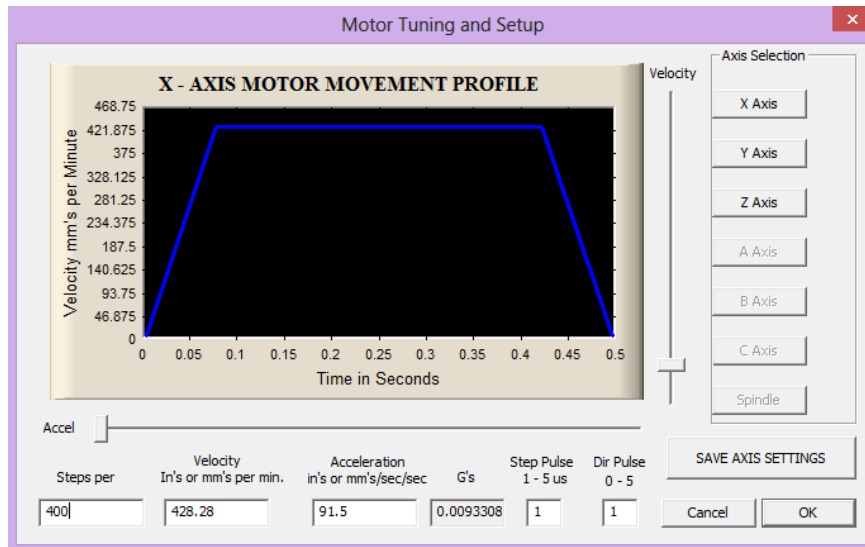


Figura 35-2: Configuración de los motores

Realizado por: Naranjo A., 2017

Para tornillos en milímetros como el utilizado en el eje z se realiza el siguiente proceso:

$$RMU = (RTU \times N_s) / N_m.$$

Donde:

RMU = Revolución del motor por unidad

RTU = Revolución del tornillo por unidad = $1 / \text{paso efectivo del tornillo}$

N_s = Número de dientes del engranaje que se encuentra acoplado al tornillo

N_m = Número de dientes del engranaje que se encuentra acoplado al eje del motor

(La relación de este dato debe ser 1 o menor, para mm)

Paso efectivo del tornillo = La distancia que mueve el eje por una rev.tornillo.

Paso efectivo del tornillo = 2mm

$$RTU = 1 / 2 = 0.5$$

Los datos de N_s y N_m se omiten dado que en este caso es un acoplamiento directo por lo cual la revolución del motor por unidad es igual al dato de revolución del tornillo por unidad.

$$RMU = RTU = 0.5$$

$$PM_z = PRM * RMU$$

$$PM_z = 2000 * 0.5$$

$$PM_z = 100$$

2.4.1.4 Referencias (HOMES)

Para configuración de la referencia de operación, se debe configurar ciertos parámetros en cada eje tomando en cuenta la configuración de Home/SoftLimits las cuales funcionan como fines de carrera, de modo que si la herramienta llega a su límite máximo, esta debe detenerse automáticamente evitando daños mecánicos.

En esta ventana se ingresan los datos del recorrido que realizará la herramienta, los cuales se configuran como punto mínimo el 0 y máximo de acuerdo al recorrido de cada eje, tal como se observa en la figura 36-2.

Axis	Reversed	Soft Max	Soft Min	Slow Zone	Home Off.	Home N...	Auto Zero	Speed %
X		1300	0	1.00	0.0000			20
Y		2900	0	1.00	0.0000			20
Z		60	0	1.00	0.0000			100
A		100.00	-100.00	1.00	0.0000			20
B		100.00	-100.00	1.00	0.0000			20
C		100.00	-100.00	1.00	0.0000			20

G28 home location coordinates

X	0	A	0
Y	0	B	0
Z	0	C	0

OK

Figura 36-2: Configuración de límites

Realizado por: Naranjo A., 2017

2.4.2 Adaptación de archivos para Match 3

Para preparar un dibujo para ser usado en el programa Mach3 se lo puede realizar de 3 formas:

1. Escribir el código G de la figura que queremos obtener y escribirlo en un archivo .txt a través de esto puede ser cargado directamente al programa y obtener la pieza deseada.
2. El no tener conocimiento en código G no representa un impedimento para usar esta máquina ya que a se puede transformar un archivo diseñado en AutoCAD a código G a través de un software.
3. Como recurso adicional esta máquina cuenta con un modo de enseñanza que permite adaptar a la máquina los movimientos que queremos realizar, mostrando así una secuencia que posteriormente se realizará automáticamente.

2.4.3 Conversión de archivos de AutoCAD a código G para Mach3

Como primer paso antes de empezar a dibujar en AutoCAD se cambian las unidades de trabajo a milímetros ya que la máquina está configurada en dichas unidades y el archivo se guarda en formato .DXF.

El archivo en formato .DXF se lo abre en el programa LazyCam y con la opción Post Code se genera automáticamente el código G correspondiente al diseño deseado con el cual se puede cargar directamente en el programa Mach3 y proceder a realizar el corte. Este proceso se resume en la figura 37-2.

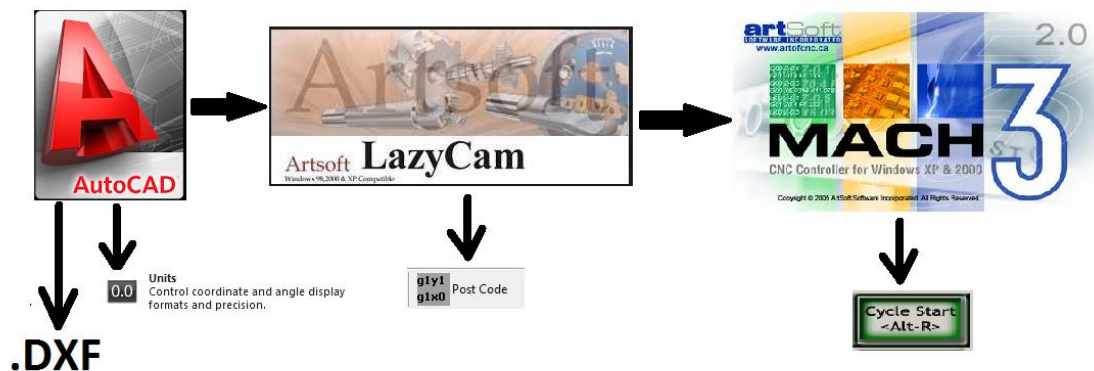


Figura 37-2: Conversión de archivos de AutoCAD a código G para Mach3

Realizado por: Naranjo A., 2017

CAPÍTULO III

3 MARCO DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANALISIS DE RESULTADOS

Para realizar las pruebas en esta máquina sin desperdiciar recursos de la empresa se decidió comprobar el funcionamiento primero de los ejes de forma individual y para comprobar los ejes en conjunto, se utilizará un marcador, con el cual se dibujará sobre una superficie diversos diseños y mediante instrumentos de medición se comparará con los planos originales.

Con los resultados obtenidos se puede calibrar el software para corregir cualquier error y comprobarlos nuevamente los dibujos hasta que los resultados estén dentro del rango de error permitido. A la vez se tomaran datos adicionales que se utilizaran posteriormente para comprobar que cumpla las expectativas de la empresa respecto al uso de recursos.

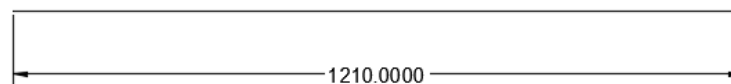
3.1 Comprobación del eje X, Y y X-Y

Se comprueba las trayectorias principales de desplazamiento que son: horizontal, vertical e inclinada para comprobar el recorrido de cada eje y en el caso de la trayectoria inclinada se comprobara el funcionamiento del eje X y Y combinados.

De cada recorrido se harán 10 pruebas por petición de la empresa y se verificará si cada recorrido está dentro del rango deseado y se calculara el error por medio de un análisis de datos en estadística descriptiva de Excel.

3.1.1 Eje X

Para comprobar la exactitud del eje X se realizará una trayectoria horizontal, es decir se realizará una línea horizontal de 1210 mm., como la que se observa en la figura 38-3, la cual equivale al corte máximo horizontal que realizara la máquina.



TRAYECTORIA HORIZONTAL

Figura 38-3: Trayectoria horizontal

Realizado por: Naranjo A., 2017

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 11-3.

Tabla 11-3: Pruebas en la trayectoria horizontal

Prueba	Medida deseada (mm)	Medida obtenida (mm)
1	1210	1209.87
2	1210	1210.35
3	1210	1209.90
4	1210	1209.93
5	1210	1209.95
6	1210	1209.88
7	1210	1209.20
8	1210	1209.97
9	1210	1209.98
10	1210	1209.96

Realizado por: Naranjo A., 2017

Tabla 12-3: Estadística descriptiva en Excel para la trayectoria horizontal.

Medida obtenida (mm)	
Media	1209.899
Error típico	0.08895005
Mediana	1209.94
Moda	#N/A
Desviación estándar	0.28128475
Varianza de la muestra	0.07912111
Curtosis	5.42939271
Coefficiente de asimetría	-1.55111488
Rango	1.15
Mínimo	1209.2
Máximo	1210.35
Suma	12098.99
Cuenta	10

Realizado por: Naranjo A., 2017

Como se observa en la tabla 12-3 el error para la trayectoria horizontal es de 0.08895 el cual es muy bajo y no es representativo, obteniendo de este modo el resultado deseado por la empresa. Además tomando en cuenta el error de medición se sabe que el error absoluto de la medida es:

$$\Delta x = \max(\sigma, p)$$

Donde:

Δx = error absoluto de la medida

p = precisión del aparato

σ = desviación estándar

\therefore

$$\Delta x = 0.281 \pm 0.02 \text{ mm}$$

3.1.2 Eje Y

Para comprobar la exactitud del eje Y se realizará una trayectoria vertical, es decir se realizará una línea horizontal de 2430 mm., como la que se observa en la figura 39-3, la cual equivale al corte máximo vertical que realizará la máquina.



TRAYECTORIA VERTICAL

Figura 39-3: Trayectoria vertical

Realizado por: Naranjo A., 2017

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 13-3.

Tabla 13-3: Pruebas en la trayectoria vertical

Prueba	Medida deseada (mm)	Medida obtenida (mm)
1	2430	2429.88
2	2430	2429.95
3	2430	2430.40
4	2430	2429.90
5	2430	2429.95
6	2430	2429.85
7	2430	2430.15
8	2430	2429.90
9	2430	2429.88
10	2430	2430.22

Realizado por: Naranjo A., 2017

Tabla 14-3: Estadística descriptiva en Excel para la trayectoria vertical.

Medida obtenida (mm)	
Media	2430.008
Error típico	0.05836285
Mediana	2429.925
Moda	2429.88
Desviación estándar	0.18455954
Varianza de la muestra	0.03406222
Curtosis	0.83265779
Coefficiente de asimetría	1.36048504
Rango	0.55
Mínimo	2429.85
Máximo	2430.4
Suma	24300.08
Cuenta	10

Realizado por: Naranjo A., 2017

Como se observa en la tabla 14-3 el error para la trayectoria vertical es de 0.05836 el cual es muy bajo y no es representativo, obteniendo de este modo el resultado deseado por la empresa. Además tomando en cuenta el error de medición se sabe que el error absoluto de la medida es

$$\Delta x = 0.184 \pm 0.02 \text{ mm}$$

3.1.3 Eje X-Y

Para comprobar la exactitud de los ejes X-Y se realizará una trayectoria diagonal, es decir se realizará una línea diagonal de 2714.59 mm., como la que se observa en la 40-3. La cual equivale al máximo corte diagonal que realizará la máquina.

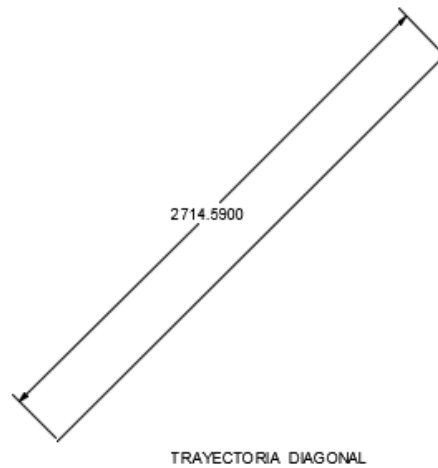


Figura 40-3: Trayectoria diagonal

Realizado por: Naranjo A., 2017

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 15-3.

Tabla 15-3: Pruebas en las trayectorias X-Y

Prueba	Medida deseada (mm)	Medida obtenida (mm)	Medida deseada ángulo (°)	Medida obtenida ángulo (°)
1	2714.59	2714.50	45	45.3
2	2714.59	2714.42	45	45.22
3	2714.59	2714.45	45	45.10
4	2714.59	2714.32	45	45.4
5	2714.59	2714.29	45	45.3
6	2714.59	2714.19	45	45.13
7	2714.59	2714.63	45	45.2
8	2714.59	2714.71	45	45.16
9	2714.59	2714.36	45	45.08
10	2714.59	2714.57	45	45.05

Realizado por: Naranjo A., 2017

Tabla 16-3: Estadística descriptiva en Excel para la trayectoria diagonal.

<i>Medida obtenida (mm)</i>		<i>Medida obtenida ángulo (°)</i>	
Media	2714.444	Media	45.194
Error típico	0.05116857	Error típico	0.03550274
Mediana	2714.435	Mediana	45.18
Moda	#N/A	Moda	45.3
Desviación estándar	0.16180922	Desviación estándar	0.11226952
Varianza de la muestra	0.02618222	Varianza de la muestra	0.01260444
Curtosis	-0.68537538	Curtosis	-0.56301402
Coefficiente de asimetría	0.15997388	Coefficiente de asimetría	0.54394468
Rango	0.52	Rango	0.35
Mínimo	2714.19	Mínimo	45.05
Máximo	2714.71	Máximo	45.4
Suma	27144.44	Suma	451.94
Cuenta	10	Cuenta	10

Realizado por: Naranjo A., 2017

Como se observa en la tabla 16-3 el error para la trayectoria diagonal con respecto a la distancia es de 0.05117 y con relación al ángulo es de 0.0355 los cuales son muy bajos y no son representativos, obteniendo de este modo el resultado deseado por la empresa. Además tomando en cuenta el error de medición se sabe que el error absoluto de la medida es:

$$\Delta x = 0.162 \pm 0.02 \text{ mm}$$

3.2 Comprobación de trayectorias circulares

Se comprueba las trayectorias circulares dibujando un círculo. Se realizarán 10 pruebas por petición de la empresa y se verificara si cada trayectoria está dentro del rango deseado. El diseño que se realizó se observa en la figura 41-3 con sus respectivas medidas. Que tiene las medidas máximas que pude graficar.

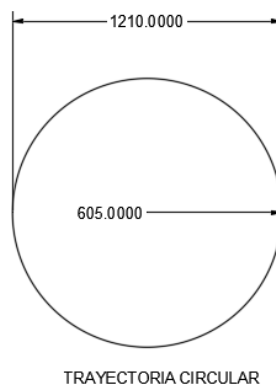


Figura 41-3: Trayectoria diagonal

Realizado por: Naranjo A., 2017

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 17-3.

Tabla 17-3: Pruebas en círculos.

Prueba	Medida deseada (mm)	Medida obtenida (mm)
1	1210	1209.77
2	1210	1210.38
3	1210	1209.95
4	1210	1209.83
5	1210	1209.75
6	1210	1209.85
7	1210	1209.15
8	1210	1209.91
9	1210	1209.89
10	1210	1209.97

Realizado por: Naranjo A., 2017

Tabla 18-3: Estadística descriptiva en Excel para círculo.

<i>Medida obtenida (mm)</i>	
Media	1209.845
Error típico	0.09528029
Mediana	1209.87
Moda	#N/A
Desviación estándar	0.30130273
Varianza de la muestra	0.09078333
Curtosis	4.02208919
Coefficiente de asimetría	-0.91588698
Rango	1.23
Mínimo	1209.15
Máximo	1210.38
Suma	12098.45
Cuenta	10

Realizado por: Naranjo A., 2017

Como se observa en la tabla 18-3 el error para círculos es de 0.09528 el cual es muy bajo y no es representativo, obteniendo de este modo el resultado deseado por la empresa.

3.3 Comparación entre corte manual y corte por máquina.

Para comprobar si existe un ahorro de recursos entre el corte manual y el corte por máquina se realiza pruebas estadísticas con datos tomados en ambos tipos de corte, al realizar la misma figura 30 veces lo que equivale al tamaño de la muestra y se procede a analizar los resultados. El diseño realizado se observa en la figura 42-3, además muestras las 4 medidas en las que se basará el análisis (a, b, c, d).

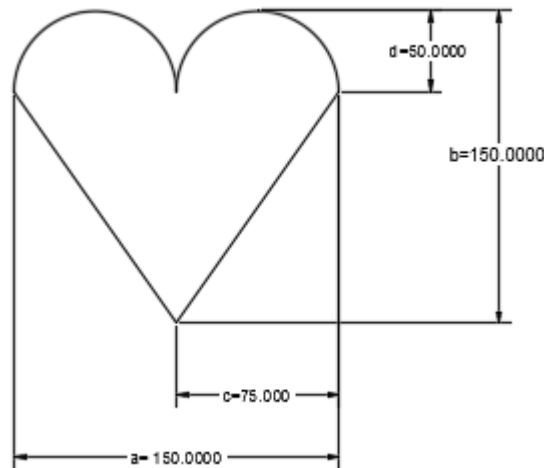


Figura 42-3: Trayectoria diagonal

Realizado por: Naranjo A., 2017

3.3.1 Precisión entre corte manual y corte por máquina.

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 19-3.

Tabla 19-3: Precisión entre corte manual y corte por máquina.

Prueba	Error manual a (mm)	Error máquina a (mm)	Error manual b (mm)	Error máquina b (mm)	Error manual c (mm)	Error máquina c (mm)	Error manual d (mm)	Error máquina d (mm)
1	3.14	0.42	5.06	0.44	1.55	0.21	3.40	0.29
2	3.19	0.15	5.41	0.62	1.59	0.07	3.65	0.43
3	2.82	0.52	4.94	0.62	1.41	0.26	3.29	0.41
4	2.89	0.39	4.94	0.88	1.45	0.19	3.27	0.59
5	2.99	0.63	5.21	0.82	1.48	0.32	3.52	0.57
6	2.79	0.40	4.79	0.82	1.33	0.20	3.19	0.55
7	3.46	0.53	4.76	0.53	1.82	0.27	3.15	0.38
8	3.07	0.15	3.14	0.98	1.68	0.07	2.09	0.65
9	3.24	0.69	3.16	0.76	1.62	0.33	2.11	0.49
10	3.36	0.20	4.76	0.72	1.68	0.11	3.17	0.47
11	2.91	0.38	4.85	0.88	1.46	0.19	3.23	0.59

12	2.89	0.31	5.02	0.98	1.44	0.15	3.35	0.63
13	2.99	0.61	4.09	0.38	1.52	0.30	2.72	0.26
14	2.79	0.92	5.47	0.52	1.42	0.46	3.69	0.35
15	3.46	0.36	4.87	0.82	1.73	0.18	3.25	0.53
16	3.07	0.08	4.75	0.71	1.53	0.04	3.18	0.48
17	2.89	0.41	3.31	0.67	1.44	0.21	2.21	0.45
18	2.99	0.76	4.94	0.87	1.52	0.38	3.33	0.58
19	2.8	0.24	4.94	0.49	1.42	0.12	3.29	0.38
20	2.88	0.34	3.41	0.45	1.44	0.15	2.27	0.31
21	2.96	0.77	4.86	0.69	1.48	0.39	3.24	0.47
22	2.8	0.13	3.22	0.25	1.52	0.06	2.15	0.17
23	3.25	0.42	4.77	0.45	1.62	0.21	3.17	0.30
24	2.92	0.50	2.75	0.37	1.46	0.25	1.78	0.25
25	2.89	0.66	4.03	0.60	1.63	0.33	2.65	0.40
26	2.97	0.44	3.14	0.90	1.85	0.23	2.09	0.62
27	2.81	0.23	4.86	0.88	1.405	0.11	2.24	0.59
28	3.55	0.12	2.85	0.34	1.75	0.06	1.46	0.25
29	3.06	0.01	3.12	0.33	1.53	0.00	2.08	0.22
30	3.52	0.22	4.84	0.24	1.76	0.11	2.23	0.14
Promedio	3.0450	0.3997	4.3420	0.6337	1.5512	0.1987	2.8150	0.4267
Error %	100	13.13	100	14.59	100	12.81	100	15.16

Realizado por: Naranjo A., 2017

Asumiendo que los valores en el corte manual son los máximo, se obtiene un promedio el cual se lo referencia como el 100% de error y en función de este se calcula el error promedio del corte por máquina como se ve en la tabla 19-3. Para una mejor comprensión estos resultados son referenciados en la gráfica 43-3.

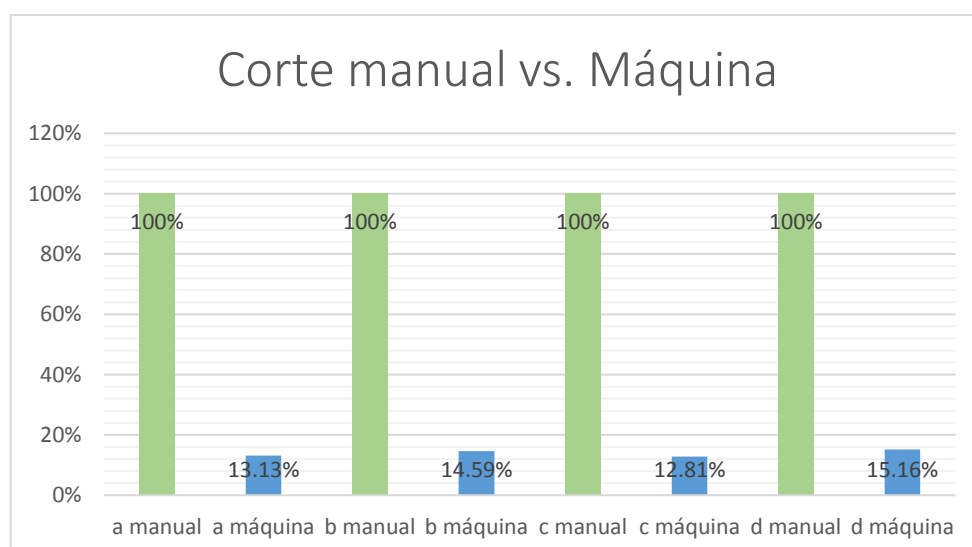


Gráfico 43-3: Corte manual vs. Máquina

Realizado por: Naranjo A., 2017

Promediando los resultados obtenidos se puede concluir que el corte máquina es un 86.08% más exacto con referencia al corte manual como se observa en la gráfica 44-3.

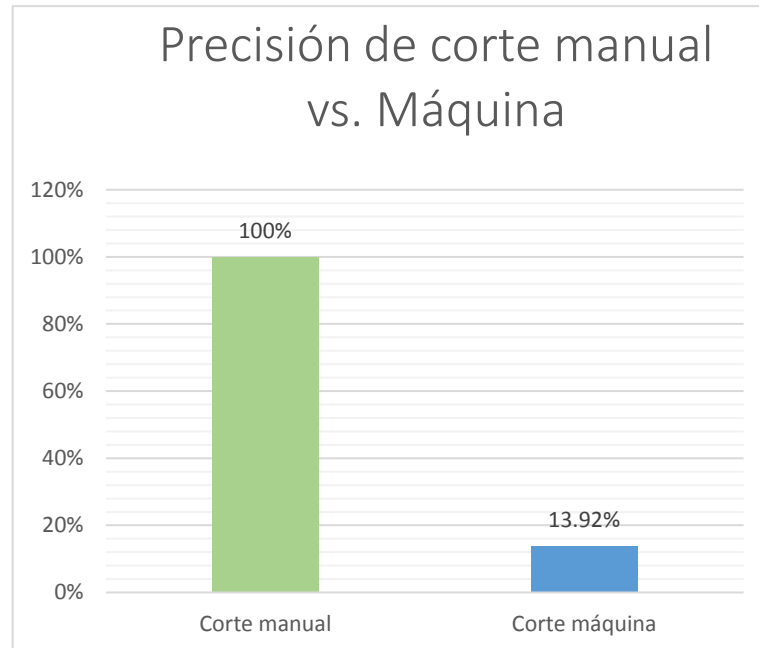


Gráfico 44-3: Precisión de corte manual vs. Máquina

Realizado por: Naranjo A., 2017

3.3.2 *Tiempo entre corte manual y corte por máquina.*

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 20-3.

Tabla 20-3: Tiempo entre corte manual y corte por máquina.

Prueba	Tiempo manual (min)	Tiempo máquina (min)
1	15.20	1.50
2	16.30	1.48
3	15.36	1.57
4	15.29	1.58
5	16.30	2.02
6	17.20	1.46
7	15.08	2.11
8	16.15	1.51
9	17.10	1.58
10	15.10	1.54
11	15.40	1.47
12	15.55	2.02
13	16.35	1.35
14	16.20	1.25

15	16.32	1.53
16	16.80	2.07
17	17.05	1.59
18	16.34	1.52
19	15.17	1.54
20	16.16	2.12
21	15.48	1.52
22	15.32	2.00
23	16.25	1.55
24	15.42	1.56
25	17.30	1.32
26	15.26	1.59
27	15.56	1.46
28	16.30	2.02
29	17.12	1.52
30	15.47	1.57
Promedio	16.00	1.63
Error %	100%	10.19%

Realizado por: Naranjo A., 2017

Para comparar estos datos se realizara la prueba estadística de T-students ya que la muestra que se tiene es pequeña, para ello se procede a obtener sus varianzas por medio del análisis de datos de Excel.

Tabla 21-3: Estadística del tiempo de corte entre corte manual y por máquina.

<i>Tiempo manual</i>		<i>Tiempo máquina</i>	
Media	15.9966667	Media	1.63066667
Error típico	0.12976755	Error típico	0.04551855
Mediana	16.155	Mediana	1.545
Moda	16.3	Moda	2.02
Desviación estándar	0.71076614	Desviación estándar	0.24931538
Varianza de la muestra	0.50518851	Varianza de la muestra	0.06215816
Curtosis	-1.11362644	Curtosis	0.31127448
Coeficiente de asimetría	0.4008714	Coeficiente de asimetría	0.95953067
Rango	2.22	Rango	0.87
Mínimo	15.08	Mínimo	1.25
Máximo	17.3	Máximo	2.12
Suma	479.9	Suma	48.92
Cuenta	30	Cuenta	30

Realizado por: Naranjo A., 2017

Como se observa en tabla 21-3 las varianzas entre las muestras son diferentes una de la otra por lo cual se debe hacer una análisis para dos muestras con varianzas diferentes. A continuación se procede a plantear una hipótesis nula y una hipótesis alternativa.

Ho: $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$: Las muestras son iguales y ambos cortes consumen el mismo tiempo

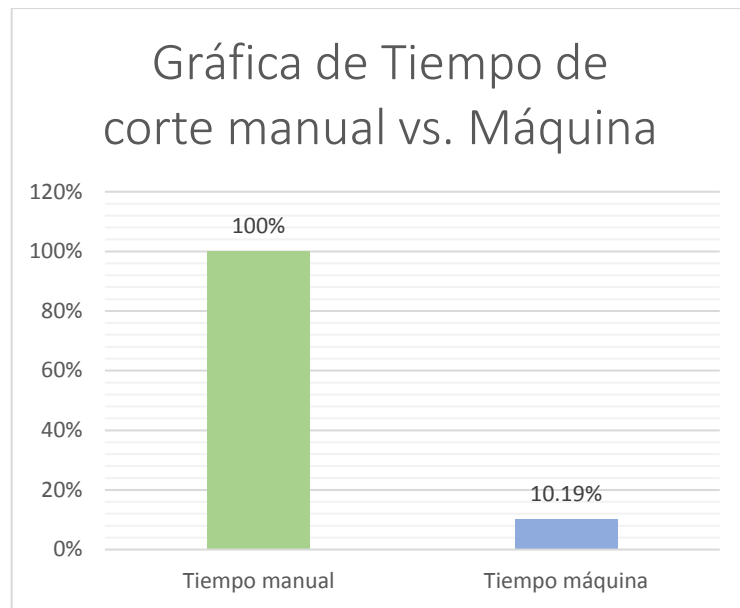
H1: $\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$: Las muestras son diferentes y el corte por máquina es más rápido.

Tabla 22-3: T-students para dos muestras con varianzas desiguales para el tiempo

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>Tiempo manual</i>	<i>Tiempo máquina</i>
Media	15.9966667	1.63066667
Varianza	0.50518851	0.06215816
Observaciones	30	30
Varianza agrupada	0.28367333	
Diferencia hipotética de las medias	14	
Grados de libertad	58	
Estadístico t	2.66144477	
P(T<=t) una cola	0.00502439	
Valor crítico de t (una cola)	1.67155276	
P(T<=t) dos colas	0.01004878	
Valor crítico de t (dos colas)	2.00171748	
Realizado por: Naranjo A., 2017		

Como se muestra en la tabla 22-3, el estadístico t calculado es mayor a la t crítica para dos colas, es decir $t_{cal} = 2.66 > t_c = 0.01$, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa dando como resultado que el corte por máquina es más rápido.

Visto de una manera gráfica con los porcentajes obtenidos en la tabla 21-3, donde se realizó el promedio de tiempo de corte manual asignándole a este el 100% de error para referenciarlo con el tiempo promedio de corte por máquina y se puede concluir que el corte por máquina es 89.81% más rápido. Como se ve en la gráfica 45-3.



Gráfica 45-3: Tiempo de corte manual vs. Máquina

Realizado por: Naranjo A., 2017

3.3.3 Optimización de material entre corte manual y corte por máquina.

Tabla 23-3: Optimización de material entre corte manual y corte por máquina.

Tipo corte	Número de piezas	Piezas correctas	Piezas erróneas	Porcentaje de error
Manual	30	27	3	10%
Máquina	30	30	0	0%

Realizado por: Naranjo A., 2017

En este caso al analizar el porcentaje de error representa el porcentaje de desperdicio de material que en el caso del corte manual se desperdicia un 10% del material pero en el corte por máquina no existe este desperdicio de material al no existir fallas, como se observa en la tabla 23-3 y en la en la gráfica 46-3.

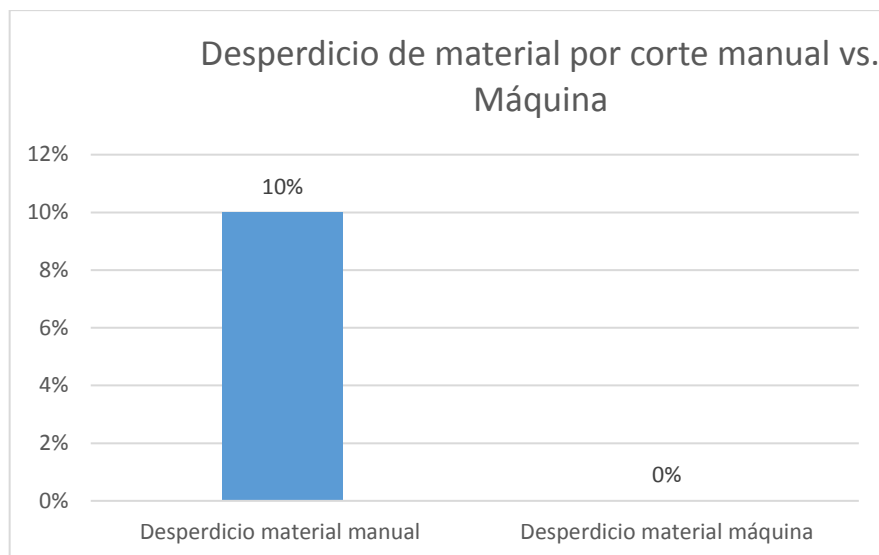


Gráfico 46-3: Desperdicio de material por corte manual vs. Máquina

Realizado por: Naranjo A., 2017

CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño, construcción y automatización de una mesa CNC de corte por plasma que incluye el software de control de la máquina el cual funciona con código G. Además cumple los parámetros solicitados por la empresa.
- Este equipo es versátil ya que puede adaptarse a varios trabajos fácilmente dado que solo necesita un cambio de herramienta y podría ser usada como fresadora entre otros.
- Gracias a este trabajo la empresa queda satisfecha con su equipo ya que cumple sus necesidades y facilita de gran manera su trabajo en lo referente al corte figuras en acero.
- La empresa muestra incremento en la velocidad de producción aun cuando la máquina es nueva y los operarios están aprendiendo a utilizarla. Además de un ahorro en recursos significativos.
- Se obtuvo mejoras en un: 86.08% en la precisión de corte, 89.81 % en rapidez de corte y un desperdicio de materia prima de 0%. Cumpliendo de este modo las expectativas de la empresa.
- El equipo se construyó a un precio mucho menor del precio comercial.
- Este proyecto puede ser modificado posteriormente ya que este equipo tiene muchos más opciones de explotar y mejorar.

RECOMENDACIONES

- Organizar correctamente las pruebas y previamente tener los archivos .DXF u utilizar las opciones por defecto que trae el software.
- Identificar las velocidades máximas y mínimas que la máquina puede ejecutar sin problemas mecánicos de inercia, precisión, etc.
- Mantener activados los límites de la máquina para evitar que sean sobrepasados y evitar daños mecánicos.
- Realizar una pequeña capacitación a los operadores antes de que procedan a utilizar el equipo.
- Después de finalizar cualquier actividad mantener activado el botón de protección de los motores para que estos no se muevan aun si alguien activa el equipo por error.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ARPI TRUJILLO, José Gabriel, & CABRERA MENDIETA, Diego Román.** Implementación de un sistema de control para una máquina CNC láser. [En línea] (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Facultad de Ingeniería Eléctrica, Cuenca, Ecuador. 2013. p.1. [Consulta: 1 noviembre 2016]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3351>
2. *Autómatas programables.* [En línea]. España: Difoosion, 2013. [Consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/webcentro/automatica/WebCQMH1/PAGINA%20PRINCIPAL/Automatizacion/Automatizacion.htm>.
3. *Corte por plasma.* [En línea]. Cuba: EcuRed, 2010. [Consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en : https://www.ecured.cu/Corte_por_plasma
4. **FREILE ARAUZ, Edwin David.** Automatización de una máquina fresadora mediante control numérico computarizado. [En línea] (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Quito, Ecuador. 2009. p.1. [Consulta: 1 noviembre 2016]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1572>
5. **Gómez, Tomás; et al. Sapiens:** Mecanizado Básico para electromecánica. Madrid-España: Paraninfo, 2011, pp. 161-162
6. **Groover, Mikell.** Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. 3 ed^a. Bethlenhem-Pensilvania: Mc Graw Hill, 2013, pp. 621-633,888
7. **Moreno Silva, Leonardo.** *¿Qué es Autocad y para que nos sirve?* [blog]. 2013 [Consulta: 12 noviembre 2016]. Disponible en : <http://leonardoqta03.blogspot.com/2013/04/que-es-autocad-y-para-que-nos-sirve.html>
8. *Motores paso a paso.* [En línea]. Argentina: Ariel Palazzesi, 2008. [Consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en : <http://www.neoteo.com/motores-paso-a-paso/>

9. *Motores pap* [En línea]. Bergamo: 2011. [Consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en : <http://www.productoscnc.es/hyperpages/unintroamotorespap.htm>
10. *NEMA motor* [En línea]. Estados Unidos: 2015. [Consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en : http://reprap.org/wiki/NEMA_Motor
11. **Sánchez, Gregorio.** 2014. *Uso de la Tecnología en el Aula II*. Bloomington-EE.UU: Palibrio LLC, 2014, pp. 69-71.
12. **Ventura, Víctor.** *¿Qué es G-Code?* [En línea]. España. 2014. [Consulta: 10 noviembre 2016]. Disponible en : <https://polaridad.es/que-es-g-code/>